



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HENRI SIISKONEN
LEUKAMURSKAIMEN TYÖNNINLAATAN ANTUROINTI JA
HYDRAULIKÄYTTÖISEN VAROLAITTEEN MITOITUS
Diplomityö

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
8. lokakuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

SIISKONEN, HENRI: Leukamurskaimen työnninlaatan anturointi ja hydraulikäyttöisen varolaitteen mitoitus

Diplomityö, 61 sivua, 17 liitesivua

Tammikuu 2015

Pääaine: Hydrauliikka ja automaatiikka

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen

Avainsanat: Leukamurskain, työnninlaatta, hydraulikäyttöinen varolaite, anturointi

Leukamurskaimen työnninlaatta on yksi sen tärkeimmistä murskausvoimia vastaanottavista komponenteista. Se vastaanottaa suuren osan liikkuvan leuan alaosaan kohdistuvista murskausvoimista ja pitää murskaimen asetuksen kohdillaan. Yksi työnninlaatan tehtävä on myös toimia sulakkeen tavoin. Mikäli murskausvoimat kasvavat liian suuriksi on työnninlaatta suunniteltu lommahtamaan. Kuitenkin suuret tai jatkuvat toispuoleiset murskausvoimat voivat vaurioittaa työnninlaattaa ja sen laakerointia. Tämän takia tässä työssä pohditaan mahdollisia työnninlaatan anturointimenetelmiä, joilla voitaisiin tunnistaa työnninlaattavoimat ja estää osien vaurioituminen.

Työn toisena tavoitteena on tehdä hydraulikäyttöisen varolaitteen alustava mitoitus-työ kahdelle erikokoiselle Metso C-sarjan leukamurskaimelle: C80 ja C130 -murskaimelle. Mitoitustyön tarkoitus on mitoittaa tärkeimmät varolaitteen hydraulikomponentit, eli sen hydraulisylinterit ja paineenrajoitusventtiilit. Tarkoituksena ei ollut tehdä tarkkoja komponenttivalintoja, vaan keskitytään komponenttien kokoluokkaan. Mitoitusta varten tarvittavat alkuarvot saatiin C80 ja C130 -murskaimen työnninlaattavoimamittauksista, jotka suoritettiin käyttäen venymäliuska-antureita.

Työn tärkeimpiä mittauksista saatuja tuloksia olivat suurimmat C80 ja C130 -murskaimen työnninlaattaan kohdistuneet voimat. Näiden perusteella pystyttiin mitoittamaan hydraulikäyttöisen varolaitteen tärkeimmät hydraulikomponentit kyseisille murskaimille. Työssä tarkasteltiin myös C95-murskaimen työnninlaattavoimia. Metso C95 -murskain oli varustettu hydraulikäyttöisellä varolaitteella ja tällöin työnninlaattavoimat pystyttiin mittaamaan venymäliuska-antureiden lisäksi myös sylintereiden paineista. Tärkein havainto oli, että kyseisen varolaitteen paineista mittaamalla ei pystytty tunnistamaan työnninlaattaan kohdistuneita toispuoleisia voimia. Venymäliuskoilla työnninlaatan pinnasta mittaamalla se sen sijaan onnistui.

Mittaustulosten perusteella parhaiksi anturivaihtoehtoiksi valikoituivat ruuvilla kiinnitettävät venymäanturit ja pistehitsattavat venymäanturit, joiden asennus on helppoa ja luotettavaa. Näin ollen anturointi olisi mahdollista toteuttaa varsinaisella tuotantolinjalla. Lisäksi nämä anturit tarjoavat jo valmiiksi suojakoteloinnin kosteudelta ja lialta.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Automation Engineering

SIISKONEN, HENRI: Toggle plate sensing of a jaw crusher and dimensioning of hydraulic safety device

Master of Science Thesis, 61 pages, 17 appendix pages

January 2015

Major: Hydraulics and Automation

Examiner: Professor Jari Rinkinen

Keywords: Jaw crusher, toggle plate, hydraulic safety device, sensing

Toggle plate of a jaw crusher is one of the key components that receive forces that apply from crushing stones. It receives crushing forces that apply to the lower part of the moving jaw and it keeps the setting value of the crusher constant. One of the main functions of a toggle plate is to work as a fuse. If crushing forces get too high toggle plate is designed to buckle. High crushing forces and continuous one-sided forces can damage the toggle plate or the bearings of it. The aim of this thesis work is to find a possible sensing method which can identify the crushing forces that apply to the toggle plate. This would help preventing potential wearing of the parts.

Second aim of this work is to do the dimensioning of a hydraulic safety device. The hydraulic safety device has been dimensioned for two different sizes of Metso C series jaw crushers: C80 and C130 crusher. The purpose of the dimensioning is to determine the sizes of the main hydraulic components that are used in the safety device. The main hydraulic components are hydraulic cylinders and pressure relief valves. The main focus in the dimensioning is to calculate the component sizes rather than make accurate component selections. The initial values for the dimensioning were obtained from the toggle plate force measurements that were made by using strain gauges.

One of the most important measurements results were the highest forces that applied on the toggle plate of C80 and C130 crusher. According to these forces it was possible to do the dimensioning of the hydraulic safety device for C80 and C130 crushers. The forces that applied to the toggle plate of C95 crusher have been measured too. This particular C95 crusher was equipped with hydraulic safety device. Toggle plate forces of this crusher were measured by using pressure sensors in addition to strain gauges. The pressure sensors were connected to the hydraulic cylinders of the safety device. The most important finding was that it was not possible to identify one-sided toggle plate forces by measuring from cylinder pressures. By measuring with strain gauges on the surface of the toggle plate it is possible to identify one-sided forces.

According to measurement results, the best possible force sensing method for a toggle plate is to use strain sensors that are attached on the surface of the plate by spot welding or bolts. These kinds of strain sensors offer good measuring reliability and the installation is possible to complete in the actual production line. Weldable and bolt-attached strain sensors offer also protection against humidity and dirt.

ALKUSANAT

Tämä on Tampereen teknilliseen yliopistoon tehty opinnäytetyö, joka käsittelee leuamurskaimen työnninlaatan anturoimista ja hydraulikäyttöisen varolaitteen mitoittamista. Työn tarkoituksena oli selvittää anturointivaihtoehtoja työnninlaattaan kohdistuvien voimien mittaamiseen. Työn toisena tarkoituksena oli tehdä mitoitus selvitys hydraulikäyttöisen varolaitteen hydraulikomponenteista.

Haluan kiittää Metso Minerals Oy:tä tämän työn aiheen tarjoamisesta. Työn tarkastajana toimi professori Jari Rinkinen Tampereen teknillisen yliopiston hydraulikan ja automatiikan laitokselta. Työn ohjaajina ja neuvonantajina toimivat DI Ville Viberg ja DI Niko Lamminmäki Metso Minerals Oy:ltä. Haluan kiittää työni tarkastajaa ja ohjaajiani, sekä muita henkilöitä, jotka ovat olleet tukenani tämän kirjoitustyön aikana.

Työ käsittyy teoreettisesta osuudesta ja kokeellisesta mittausosuudesta. Kaikki mittausosuuden mittaukset on suoritettu Metso Minerals Oy:n toimesta ja tässä työssä tarkastellaan niistä saatuja tuloksia. Haluan kiittää myös siitä, että olen saanut olla mukana suorittamassa mittauksia.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	Työn tavoite	1
1.2	Sisältö	2
2	LEUKAMURSKAIMEN TOIMINTAPERIAATE.....	3
2.1	Kiertomurskaimet.....	3
2.2	Blake-leukamurskain	4
2.3	Leukamurskainten mittoja	6
2.4	Työnninlaatta leukamurskaimessa	6
2.5	Kiertomurskaimen asetuksen säätö	7
2.6	Työnninlaatan nurjahdusvoiman laskeminen	8
2.7	Hydraulijärjestelmä osana murskausvoimien vastaanotossa	9
2.8	Hydraulikäyttöinen varolaite.....	10
3	VOIMAN MITTAAMINEN	14
3.1	Venymäliuskat ja wheatstonen silta	14
3.2	Venymästä voimaksi	16
3.3	Työnninlaattaan kohdistuvien murskausvoimien mittaaminen.....	16
3.4	Tavallisen leukamurskaimen työnninlaatan voimien mittaus.....	17
3.5	Hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetun leukamurskaimen työnninlaatan voimen mittaus	19
3.6	Leukamurskaimen työnninlaatan toispuoleisien voimien tunnistus.....	21
3.7	Työnninlaattavoimien mittausten suoritus.....	24
3.7.1	Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaaminen [18]....	24
3.7.2	Metso C130 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaaminen	25
3.7.3	Metso C95 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaaminen [8]	25
4	TYÖNNINLAATTAVOIMAMITTAUKSIEN TULOKSET	28
4.1	Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 90 mm asetuksella	28
4.2	Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 50 mm asetuksella	29
4.3	Metso C130 -murskaimen työnninlaattavoimat 70, 90 ja 110 mm asetuksilla... ..	30
4.4	Metso C80 ja C130 -murskainten työnninlaattavoimien tarkastelu	31
4.5	Metso C95 -murskaimen työnninlaattavoimat	35
4.5.1	Toispuoleisien työnninlaattavoimien tunnistus	37
5	TYÖNNINLAATAN ANTUROINTIVAIHTOEHDOT	41
5.1	Työnninlaatan puristuman selvitys.....	41
5.2	Siirtymäanturit.....	43
5.3	Venymäanturit.....	45
5.4	Anturivertailu	46
5.5	Anturin valinta ja asennus.....	47

6	HYDRAULIKÄYTTÖISEN VAROLAITTEEN MITOITUS C80 JA C130 -MURSKAIMEEN.....	48
6.1	Sylintereiden mitoitus.....	48
6.1.1	Varolaitteen hydraulisylinterit Metso C80 -murskaimeen.....	49
6.1.2	Varolaitteen hydraulisylinterit Metso C130 -murskaimeen.....	50
6.2	Paineenrajoitusventtiilien mitoitus	51
7	YHTEENVETO.....	56
	LÄHTEET.....	59

LIITE 1: Metso C –sarjan leukamurskaimien mittoja

LIITE 2: Hydraulikäyttöisen varolaitteen hydraulikaavio

LIITE 3: Venymäliuskan teknisiä tietoja

LIITE 4: Murskautuvuus ja kuluttavuusarvotaulukko

LIITE 5: Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaustulokset

LIITE 6: Kuvia Metso C130 -murskaimen työnninlaatasta, johon on liimattu venymäliuskoja

LIITE 7: Mittauspöytäkirja Kulmakorpi Espoo, C130

LIITE 8: Metso C130 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaustulokset

LIITE 9: Kyowan valmistama ruuveilla kiinnitettävä venymäanturi

LIITE 10: Kyowan valmistama pistehitseillä kiinnitettävä venymäanturi

LIITE 11: Bosch Rexroth CDH3 MF3 sarjan sylinterin tietoja

LIITE 12: Bosch Rexroth NS 10, NS 25 ja NS 52 nimelliskokojen esiohjattujen paineenrajoitusventtiilien ominaiskäyrät

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

ASC	ASC tulee englannin kielen sanoista ”automatic setting control”. Järjestelmää kutsutaan myös hydraulikäyttöiseksi varolaitteeksi. ASC-järjestelmä on lisävaruste, joka on saatavilla joihinkin leukamurskainmalleihin.
Asetus	Asetus ilmaisee kivenmurskaimen pienimmän aukkokoon suuruuden. Asetuksen suuruus ilmoitetaan tyypillisesti millimetreinä. Asetusta säätämällä voidaan vaikuttaa lopputuotteen suuruuteen.
CSS	CSS eli ”Closed side setting” on kivenmurskaimissa käytetty lyhenne, joka ilmaisee suljetun puolen asetuksen suuruuden.
Kiertomurskain	Yleisin leukamurskaintyyppi.
Kokojakauma	Kokojakaumalla tarkoitetaan tässä työssä tuotteen tai syötteen kokoluokaa. Kokojakauma ilmoitetaan tyypillisesti millimetreinä, esimerkiksi 0–500 mm.
Leukamurskain	Leukamurskain on kivenmurskaintyyppi, jonka toiminta perustuu kahteen leukaan.
Seula	Laite, jonka avulla materiaali/kiviaines erotellaan haluttuun lopputuotteeseen. Seuloja löytyy erikokoisia ja -mallisia. Seulan toiminta perustuu materiaalin läpäisyyden tietystä aukko-koosta.
Syöte	Tässä työssä syötteellä tarkoitetaan materiaalia (useimmiten kiviaines), jota syötetään murskaimeen.
Syötejakauma	Syötejakauma kertoo syötettävän materiaalin kokojakauman ennen murskausta.
Tuote	Tässä työssä tuotteella tarkoitetaan murskattua syötemateriaalia.
Tuotejakauma	Tuotejakauma kertoo tuotteen kokojakauman murskatulle materiaalille.
Työnninlaatta	Työnninlaatta on tasomainen jäykkä komponentti, joka löytyy leukamurskaimista.
A	pinta-ala
b	laatan leveys
D	männän halkaisija
d	männänvarren halkaisija
E	kimmokerroin
F	voima
f	taajuus
h	paksuus

I	jäyhyysmomentti
k	nurjahdusjännityskerroin
L	sylinterin redusoitu pituus
l	pituus
n	varmuuskerroin
p	paine
Q	tilavuusvirta
R	resistanssi
s	matka
t	aika
v	nopeus
ε	suhteellinen muodonmuutos
ρ	ominaisresistanssi
σ	normaalijännitys
ν	poissonin luku

1 JOHDANTO

Kivimateriaalin ja malmien hyödyntäminen aloitetaan tavanomaisesti louhinnasta, jonka jälkeen niitä hienonnetaan pidemmälle murskaamalla. Kivimateriaalin hienontamiseen on olemassa erityyppisiä kivenmurskaimia joilla jokaisella on omat ominaisuutensa. Eri kivenmurskainmallit soveltuvat paremmin tiettyyn murskausvaiheeseen kuin toiset. Murskausvaiheet voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: Esimurskaus, välimurskaus ja hienomurskaus. Murskausvaiheiden lukumäärä riippuu muun muassa syötettävän materiaalin koon ja halutun lopputuotteen ominaisuuksien mukaan. [1, luku 6 s. 1]

Esimurskauksella tarkoitetaan suoraan louhinnasta tulevien lohcareiden murskaamista. Esimurskauksen tavoitteena on murskata lohcareet sellaiseen kokoon, että niitä on mahdollista kuljettaa kuljettimilla ja syöttää välimurskaimeen. Välimurskauksella voidaan tuottaa esimerkiksi karkeaa mursketta teiden pohjamateriaaliksi tai valmistaa materiaali hienomurskausta varten. Hienomurskauksella tehdään haluttu lopputuote. Lopputuote voi olla esimerkiksi mursketta malmin rikastusprosessiin tai infrastruktuuria varten. [1, luku 3 s. 3–4] Tässä työssä ei perehdytä tämän enempää malmien tai louheiden käsittelyprosessiin, vaan keskitytään tyypillisesti esimurskausvaiheessa käytettävään kivenmurskainmalliin, leukamurskaimeen.

1.1 Työn tavoite

Työllä on kaksi päätavoitetta. Yksi työn päätavoitteista on pohtia mahdollisia anturointivaihtoehtoja, joilla voidaan tunnistaa leukamurskaimen työnninlaatan kohdistuvat murskausvoimat. Työnninlaatta on yksi leukamurskaimen tärkeimmistä murskausvoimia vastaanottavista osista. Työnninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat voivat olla liian suuria tai jatkuvasti toispuoleisia mikä voi johtaa työnninlaatan ja sen laakeroinnin vaurioitumiseen tai mahdollisesti muidenkin osien vaurioitumiseen. Tämän takia työnninlaatta halutaan anturoida, jotta epäsuotuisa tilanne pystytään tunnistamaan ajoissa ja sammuttamaan prosessi ennen kuin vahinkoa ehtii syntymään.

Työn toinen päätavoite on mitoittaa hydraulikäyttöisen varolaitteen tärkeimmät hydraulikomponentit kahteen erikokoiseen Metso C-sarjan leukamurskainmalliin, C80 ja C130 -murskaimeen. Hydraulikäyttöisen varolaitteen tarkoitus on estää liian suurien murskausvoimien syntyminen. Tätä varolaitetta on jo saatavilla lisävarusteena joihinkin Metso C-sarjan leukamurskamalleihin, kuitenkin C80 ja C130 -murskaimeen sitä ei ole vielä saatavilla. Mitoituksessa keskitytään pääosin komponenttien kokoluokan määrittämiseen. Tämän osion tarkoituksena on lähinnä tehdä tarkastelu siitä, että olisiko hydraulinen varolaite mahdollista toteuttaa kyseisille murskaimille ja minkä kokoisia

hydraulikomponentteja se vaatisi. Osiossa tarkastellaan myös mitä asioita mitoituksessa tulee ottaa huomioon.

1.2 Sisältö

Työ voidaan jakaa karkeasti neljään osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään leukamurskainten toimintaperiaate ja pääpiirteittäin niiden rakenne. Etenkin leukamurskaimen työnninlaattaa tarkastellaan tarkemmin. Osiossa käydään myös läpi hydraulikäyttöisen varolaitteen toimintaperiaate ja pääkomponentit.

Toinen osa on voimien mittaamiseen liittyvä. Tässä osassa selvitetään yleisiä asioita liittyen voiman mittaamiseen ja tarkastellaan etenkin leukamurskaimen työnninlaataan kohdistuvien voimien mittaamista. Osiossa keskitytään siihen, kuinka työnninlaataan kohdistuvat voimat voidaan mitata tavallisesta leukamurskaimesta ja hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetusta leukamurskaimesta. Työnninlaattavoimat mitattiin kolmesta eri leukamurskainmallista: C130, C95 ja C80 -murskaimesta. Metso C95 -murskain oli varustettu hydraulikäyttöisellä varolaitteella. Osiossa tarkastellaan myös mittaustuloksia.

Kolmannessa osassa pohditaan mahdollisia työnninlaatan anturointivaihtoehtoja. Anturointi halutaan toteuttaa siten, ettei työnninlaatan tai leukamurskaimen rakennetta tarvitse muuttaa. Anturointivaihtoehtoja etsittäessä keskitytään myös siihen, kuinka hyvin ne pystyvät tunnistamaan mahdollisia toispuoleisia työnninlaataan kohdistuvia voimia.

Neljännessä osassa mitoitetaan hydraulikäyttöisen varolaitteen päähydraulikomponentit C80 ja C130 -murskaimeen. Varolaitteen päähydraulikomponentit ovat sen hydraulisylinterit ja paineenrajoitusventtiilit. Mitoittamiseen tarvittavat lähtöarvot saadaan kyseisten murskainten työnninlaattavoimamittauksien tuloksista. Työn lopussa on yhteenveto tärkeimmistä mittaustuloksista, anturivalinnoista ja hydraulikäyttöisen varolaitteen mitoituksista.

2 LEUKAMURSKAIMEN TOIMINTAPERIAATE

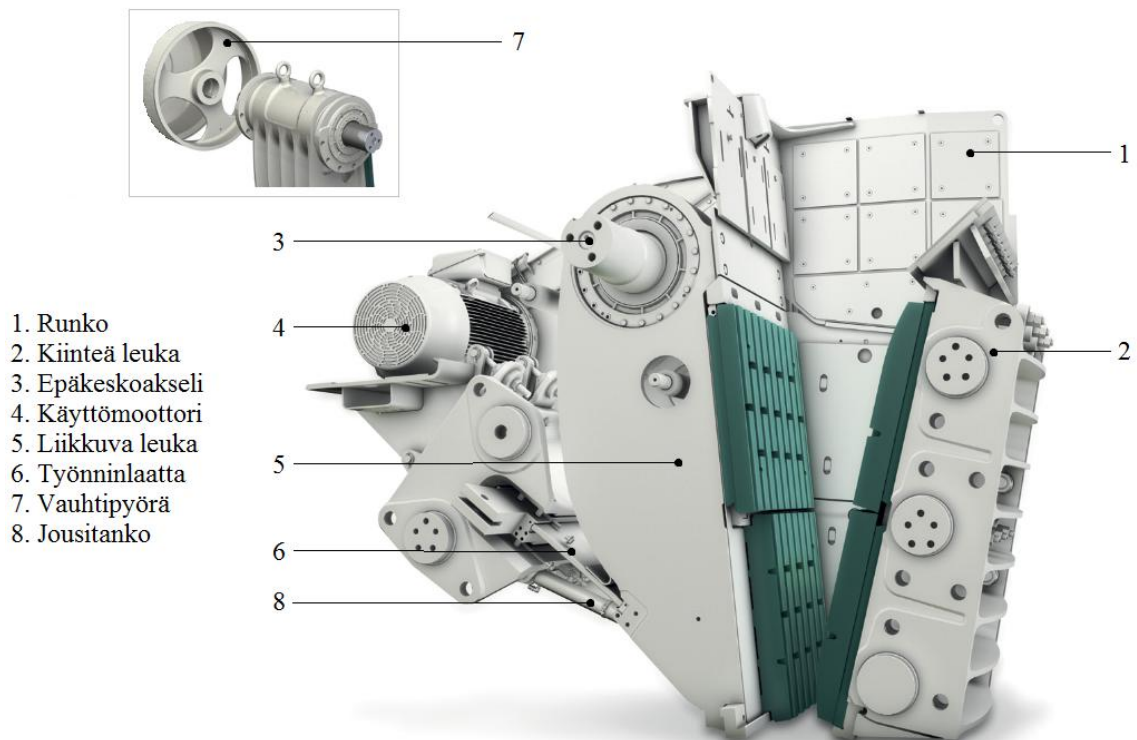
Leukamurskaimen toiminta perustuu kahteen tasomaiseen jäykkään murskaus-elementtiin, joita kutsutaan leuoiksi. Leuat ovat sijoitettu tasopinnat vastakkain siten, että niiden väliin jää halutun kokoinen rako sekä kitakulma. Leukojen välinen kulma on asetettu siten, että niiden välinen etäisyys pienenee ylhäältä alaspäin mentäessä. Näin ollen yläkautta tulevan murskattavan materiaalin, eli syötteen, on pienennyttävä sitä mukaa kun leukojen välinen etäisyys pienenee. Jotta syöte murskaantuisi leukojen väliin, on siihen kohdistettava puristavaa voimaa. [2, s. 89]

Leukaparin toinen puoli on kiinteästi sijoitettu ja toinen leuka tekee toistuvaa edestakaista liikettä, joka saa aikaan puristavaa voimaa kiinteää leukaa vasten. Murskattavan materiaalin joutessa leukojen väliin, liikkuva leuka puristaa materiaalia kiinteää leukaa vasten. Puristava voima on niin suuri, että materiaali saavuttaa murto-juuressa ja murtuu. Ensimmäisen tämän tyyppisen puristavaan voimaan perustuvan leukamurskaimen keksi amerikkalainen mies nimeltä Eli Whitney Blake vuonna 1858 ja murskain nimettiin keksijänsä mukaan Blake-murskaimeksi. [2, s. 89]

Leukamurskaimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: Yhden työnninlaatan ja kahden työnninlaatan avulla toimiviin murskaimiin. [1, luku 3 s. 1] Yhden työnninlaatan perusteella toimivia leukamurskaimia voidaan kutsua kierto- tai kitamurskaimiksi. Kahden työnninlaatan perusteella toimivia kutsutaan varsinaisiksi leukamurskaimiksi tai yleisesti myös Blake-murskaimiksi. [2, s. 89] Murskausperiaate on molemmissa sama, eli materiaali murskataan puristamalla se liikkuvalla leualla kiinteää leukaa vasten. [1, luku 3 s. 1]

2.1 Kiertomurskaimet

Yhden työnninlaatan perusteella toimivien leukamurskaimien liikkuva leuka on tuettu ylälaidasta epäkeskoakselin varaan. Liikkuvan leuan alalaidasta tuenta on toteutettu työnnilevyn sekä liikkuvaa leukaa työnninlaattaa vasten vetävän jousitangon avulla. Epäkeskoakselin molemmissa päissä on vauhtipyörät, joita pyöritettäessä akselin epäkeskisyys sekä liikkuvan leuan tuenta työnninlaattaa vasten saa aikaan kiertomurskaimelle tyypillisen murskausliikkeen. Kiertomurskaimen pääkomponentit on esitetty kuvassa 2.1. Kuvassa on Metso C-sarjan leukamurskain, joka toimii kiertomurskaimen tavoin. [2, s. 90]



Kuva 2.1 Kiertomurskaimen pääkomponentit. [3]

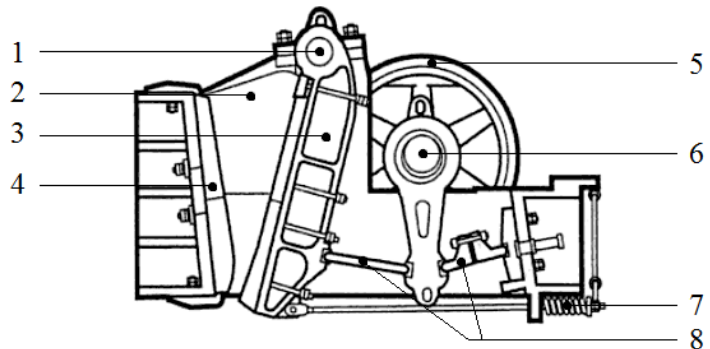
Kiinteä leuka pysyy paikallaan ja liikkuva leuka tekee epäkeskistä liikettä. Liike on suurimmillaan liikkuvan leuan ylälaosassa, eli alueella, jossa suurimmat kappaleet murskataan. Murskausvoimat ovat suuria sekä leuoissa, että epäkeskoakselissa. Työnninlaatta ottaa vastaan liikkuvan leuan alaosaan kohdistuvia murskausvoimia. Työnninlaatta on tuettu päistään liukulaakereilla ja se pysyy paikallaan jousitangon avulla. Nykyään jousitangon tilalla on hydraulinen pidätinsylinteri. Jousitanko siis toimii liikkuvan leuan palauttajana, sekä työnninlaatan paikalleen vetävänä voimana. Kivien murskaaminen kohdistaa leukoihin suuria voimia, joten vauhtipyörät tasoittavat koneen käyntiä. Toinen vauhtipyörä toimii myös koneen kiilahihnapyöränä. [2]

Murskaimen asetus, eli leukojen alapäiden välinen lyhin etäisyys toisistaan ilmoitetaan yleensä (CSS) asetuksena, eli suljetun puolen asetuksena. Asetusta säädetään työnninlaatan asentoa siirtämällä. Työnninlaattaa voidaan liikuttaa sen takana olevien levyjen avulla tai hydraulisesti. Kiertomurskainten murskaussuhde on tyypillisesti noin 5:1. [2][1]

2.2 Blake-leukamurskain

Blake tyyppisten leukamurskainten pääasiallinen ero kiertomurskaimiin on kahden työnninlaatan avulla tapahtuva liikkuvan leuan liike sekä epäkeskoakselin sijoitus. Blake-murskaimen liikkuvan leuan takana olevat työnninlaatat ovat sijoitettu peräkkäin ja epäkeskoakseli vaikuttaa suoraan niihin. Liikkuva leuka on tuettu ylhäältä suoralla akselilla. Kuvassa 2.2 näkyy kahden työnninlaatan perusteella toimivan leukamurskaimen pääkomponentit. [1, luku 3 s. 1]

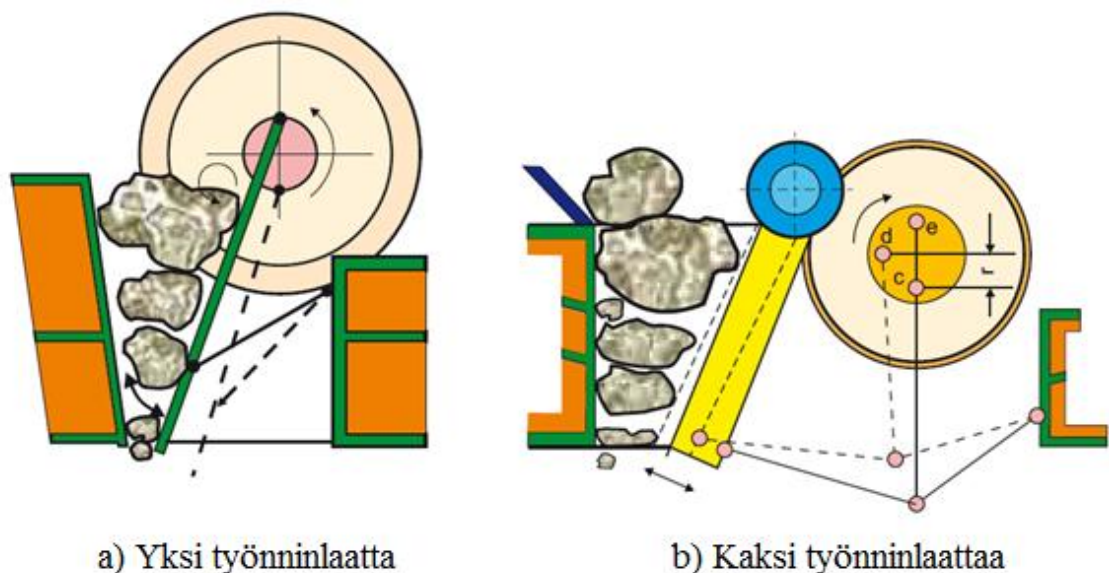
1. Liikkuvan leuan Akseli
2. Runko
3. Liikkuva leuka
4. Kiinteä leuka
5. Vauhtipyörä
6. Epäkeskoakseli
7. Jousitanko
8. Työnninlaatat



Kuva 2.2 Blake-leukamurskaimen pääkomponentit. [4]

Kiinteän leuan ja liikkuvan leuan sijoitus on samankaltainen kuin kiertomurskaimessa, mutta kuten kuvasta 2.2 nähdään, epäkeskoakseli ja siihen vaikuttava vauhtipyörä ovat sijoitettuna liikkuvan leuan taakse. Epäkeskoakseli on kytkettynä välitangon avulla työnninlaattojen väliin. Näin ollen vauhtipyörän pyöritettäessä epäkeskoakselia, työnninlaattojen välinen kulma vaihtelee, kuin myös työnninlaattojen ulompien päiden välinen etäisyys. Jousitanko toimii samalla periaatteella kuin kiertomurskaimessa, eli liikkuvan leuan palauttajana sekä työnninlaattoja pitävänä voimana. [2, s. 94]

Blake-leukamurskaimen liikkuvan leuan liikerata on jokseenkin erilainen verrattuna kiertomurskaimeen. Blake-leukamurskaimen ja kiertomurskaimen liikeradat on havainnollistettu kuvassa 2.3.



Kuva 2.3 a) Kiertomurskaimen ja b) blake-tyyppisen leukamurskaimen liikeradat. [1, luku 3 s. 1]

Kuvassa 2.3 vasemmalla näkyy kiertomurskaimen liikerata ja oikealla blake-tyyppisen leukamurskaimen liikerata. Blake-tyyppisessä murskaimessa liikkuva leuka on tuettu

ylhäältä suoralla akselilla, joten se pääsee liikkumaan vain kiertymällä akselinsa ympäri [2, s. 94]. Tällöin myös liikkuvan leuan liike on suurimmillaan sen alaosassa.

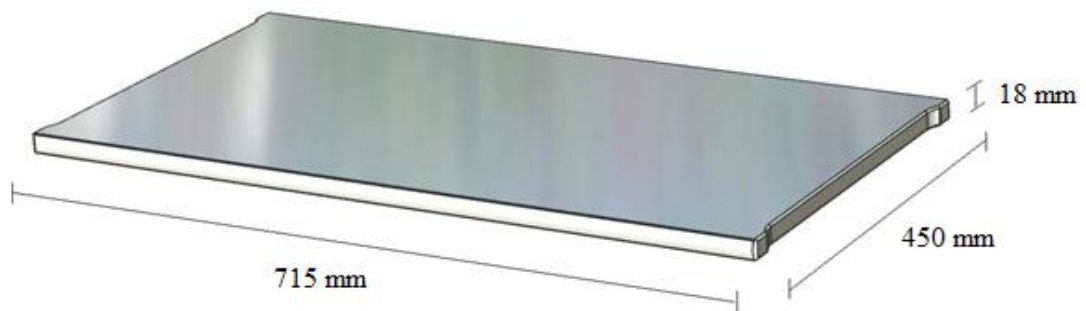
Asetuksen säätö tapahtuu samalla tavalla kuin kiertomurskaimessa. Blake-leukamurskaimen murskaussuhde on tyypillisesti 5:1 [1, luku 6 s. 1]. Kahden työnnilaatan avulla toimivien leukamurskainten monimutkaisempi rakenne ja heikompi murskauskapasiteetti on johtanut kiertomurskainten suurempaan suosioon [2, s. 89]. Heikompi murskauskapasiteetti johtuu Blake-murskaimen erilaisesta leuan liikeradasta. [1, luku 3 s. 2]

2.3 Leukamurskainten mittoja

Leukamurskainten koko ilmoitetaan niiden kita-aukon pituuden ja leveyden mukaan. Kidan akselin suuntainen mitta ilmoittaa kidan pituuden ja leveys on sitä vastaan kohtisuorassa. [2, s. 90] Liitteessä 1 on havainnollistettu Metso C-sarjan leukamurskainten mittoja. Liitteen 1 taulukon yläosassa vaakasuoralla on erikokoisia Metso C-sarjan murskainmalleja. Liitteestä 1 nähdään, että C80 -murskaimen kooksi voitaisiin ilmoittaa 800x510, joka siis tarkoittaa, että kidan pituus A on 800 mm ja leveys B on 510 mm. Mitat otetaan syöttöaukon puolelta kita-aukon ollessa suurimmillaan.

2.4 Työnnilaatta leukamurskaimessa

Tässä työssä työnnilaatan tarkastelu rajataan kiertomurskaimen työnnilaattaan. Kiertomurskaimen työnnilaatta on tasomainen vahva komponentti, jonka tehtävänä on tukea liikkuvan leuan alaosaa ja vastaanottaa siihen kohdistuvat murskausvoimat. Työnnilaatan tehtävän sanotaan myös olevan toimiminen sulakkeen tavoin. Murskausvoimien tullessa liian suuriksi, esimerkiksi vieraan esineen joutuessa kitaan, työnnilaatan tulisi nurjahtaa ja näin säästyttäisiin kalliimpien osien vaurioitumiselta. Työnnilaatat on kuitenkin mitoitettu hyvin vahvoiksi ja niiden nurjahtaminen on erittäin harvinaista. [5] Työnnilaatta on havainnollistettu kuvassa 2.4.



Kuva 2.4 Metso C80 -murskaimen työnnilaatta.

Työnninlaatan pituus ilmoitetaan siihen kohdistuvien murskausvoimien suuntaisesti ja leveys kohtisuoraan pituuteen nähden. Työnninlaatat valmistetaan kulutusta kestävästä teräksestä. Ne on tuettu päistään liukulaakereilla. Työnninlaatan tuenta on havainnollistettu kuvassa 2.5.

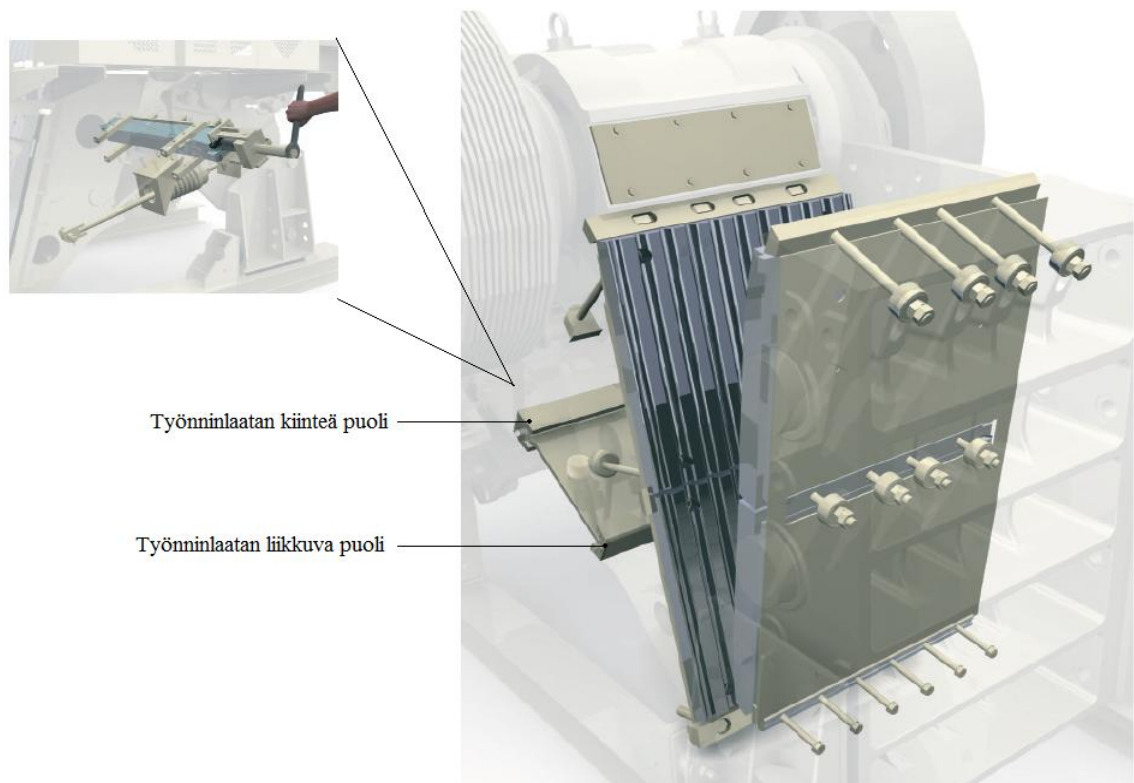


Kuva 2.5 Työnninlaatan tuennan periaatekuva.

Työnninlaatan päät on pyöristetty ja ne ovat suoraan laakeripintaa vasten. Työnninlaatta pysyy paikallaan, kuten jo aiemmassa luvussa todettiin, hydraulisen pidätinsylinterin tai jousitangon avulla. Murskausvoimat vaikuttavat kuvan työnninlaattaan sivuilta päin.

2.5 Kiertomurskaimen asetuksen säätö

Metso C-sarjan kiertomurskaimien asetusta voidaan säätää työnninlaatan takana olevien kiilojen avulla. Kiilat liukuvat lomittain toisiaan vasten ja saavat työnninlaatan aseman muuttumaan. Kuvassa 2.6 on havainnollistettu kiilojen sijainti kiertomurskaimessa.



Kuva 2.6 Metso C-sarjan kiertomurskaimen asetuksen säätö. [1]

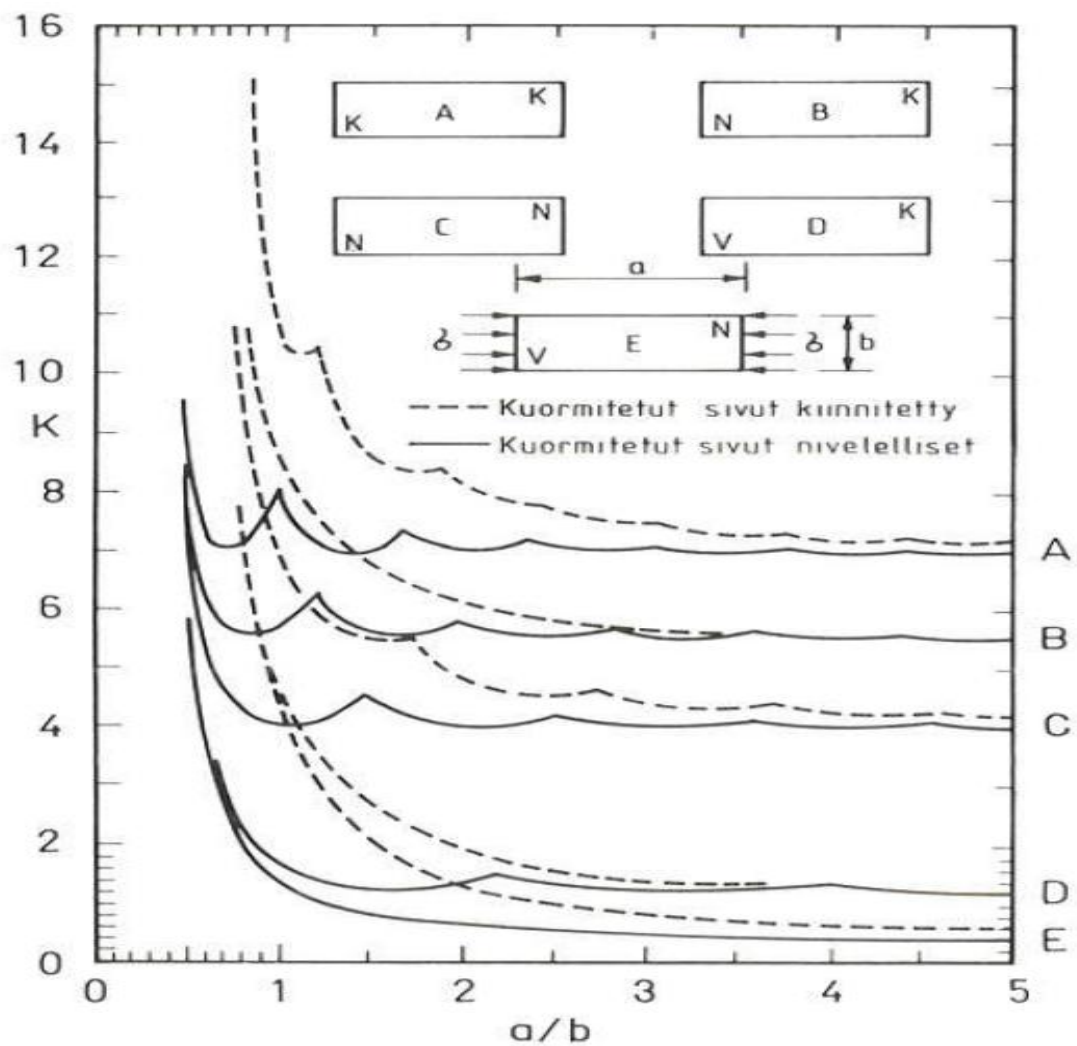
Kiilat sijaitsevat työninlaatan kiinteän puolen liukulaakeripinnan takana. Asetuksen säätö voidaan tehdä manuaalisesti kiertämällä säätöruuvia, joka painaa kiiloja limittäin, tai hydraulisesti. Hydraulisessa vaihtoehdossa säätöruuvien tilalla on hydraulisylinteri.

2.6 Työninlaatan nurjahdusvoiman laskeminen

Tarkastellaan työninlaatan nurjahtamista. Laattamaisen kappaleen nurjahdusjännitys σ_n voidaan laskea kaavalla (1).

$$\sigma_n = \frac{\pi^2 k E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{h}{b} \right)^2 \quad (1)$$

E on materiaalin kimmokerroin, h on laatan paksuus, b on laatan leveys, ν on poissonin luku ja kerroin k saadaan kuvasta 2.7 kun tiedetään laatan pituus a ja leveys b . [6, s. 429]



Kuva 2.7 Laatan nurjahdusjännityksen laskeminen. [6]

Kerroin k luetaan käyrän E kohdalta, sillä laatan toinen pääty on kiinteä ja toinen liikkuva. Lisäksi laatan kuormitetut sivut ovat nivelliset joten kerroin luetaan yhtenäisen viivan kohdalta. Vaaka-akselilla on laatan pituuden a suhde sen leveyteen b ja pystyakselilla on kertoimen k arvo. Alla olevaan taulukkoon 2.1 on koottu Metso C130, C80 ja C95 -murskaimen työnninlaattojen mitat sekä kertoimen k arvot. Kertoimen k arvot on luettu kuvasta 2.7.

Taulukko 2.1 Metso C-sarjan leukamurskainten työnninlaattojen mittoja.

Murskain	Työnninlaatan pituus a [m]	Työnninlaatan leveys b [m]	Työnninlaatan paksuus h [m]	Kerroin k
C80	0,415	0,700	0,0161	3,5
C95	0,530	0,716	0,0200	2,1
C130	0,700	1,189	0,0305	3,5

Kuvan 2.4 mitoista poiketen C80-murskaimen työnninlaatan paksuus h on 16,1 mm. Metso C80 -murskaimen työnninlaatan leveys keskeltä on 700 mm.

Taulukossa 2.2 on laskettu Metso C130, C80 ja C95 -murskaimien työnninlaatan nurjahdusjännitys sekä –voima. Poissonin lukuna ν käytetään teräkselle tyypillistä arvoa 0,3 ja kimmokertoimen E on 206 GPa. Sijoittamalla arvot kaavaan (1) saadaan nurjahdusjännitys. Nurjahdusjännityksestä voidaan edelleen laskea työnninlaatan nurjahdusvoima kertomalla nurjahdusjännitys työnninlaatan poikkileikkauspinta-alalla. Poikkileikkauspinta-ala saadaan kertomalla työnninlaatan leveys b sen paksuudella h . Arvot b ja h saadaan taulukosta 2.1.

Taulukko 2.2 Työnninlaattojen nurjahdusjännitykset ja –voimat.

Murskain	Nurjahdusjännitys [MPa]	Nurjahdusvoima [MN]
C80	345	3,89
C95	305	4,37
C130	429	15,56

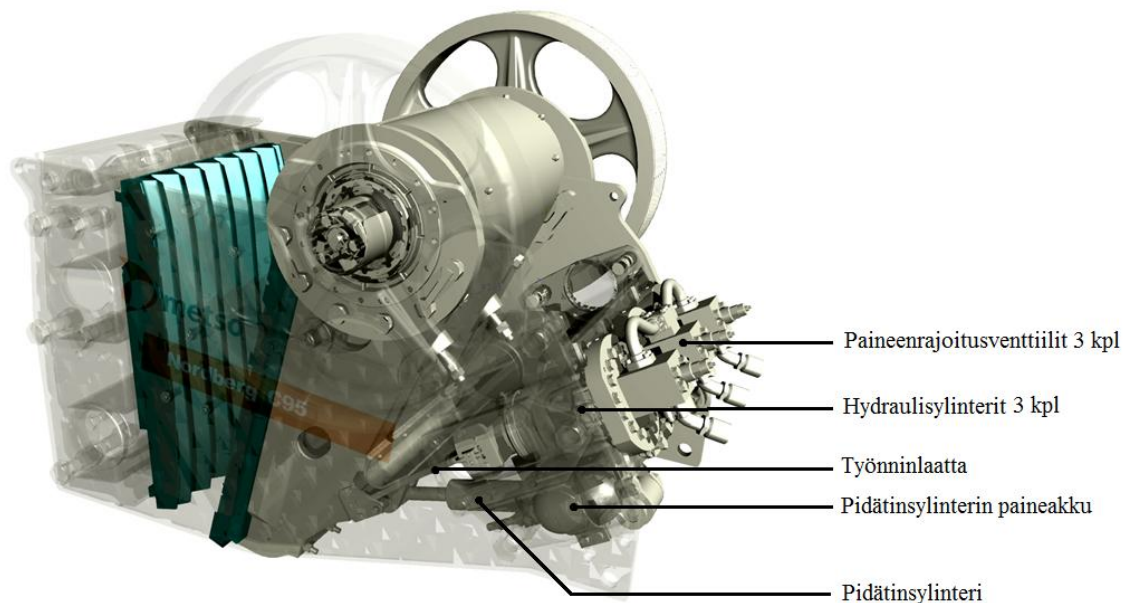
2.7 Hydraulijärjestelmä osana murskausvoimien vastaanotossa

Hydraulitekniikkaa voidaan soveltaa hyvin murskausvoimien vastaanottamiseen. Työnninlaattojen kohdistuvien murskausvoimien vastaanottoon voidaan käyttää hydraulisylintereitä, joihin on kytketty paineenrajoitusventtiilit. Hydraulisylinterein varustettua työnninlaattaa on saatavilla joihinkin Metso C-sarjan leukamurskaimiin. Järjestelmää kutsutaan hydraulikäyttöiseksi varolaitteeksi. Järjestelmä toimii varolaitteen lisäksi myös automaattisena asetuksen säätäjänä, siksi sitä kutsutaan myös

automaattiseksi asetuksensäätöjärjestelmäksi (ASC). Käydään aluksi pääpiirteittäin läpi hydraulikäyttöisen varolaitteen toimintaperiaate.

2.8 Hydraulikäyttöinen varolaite

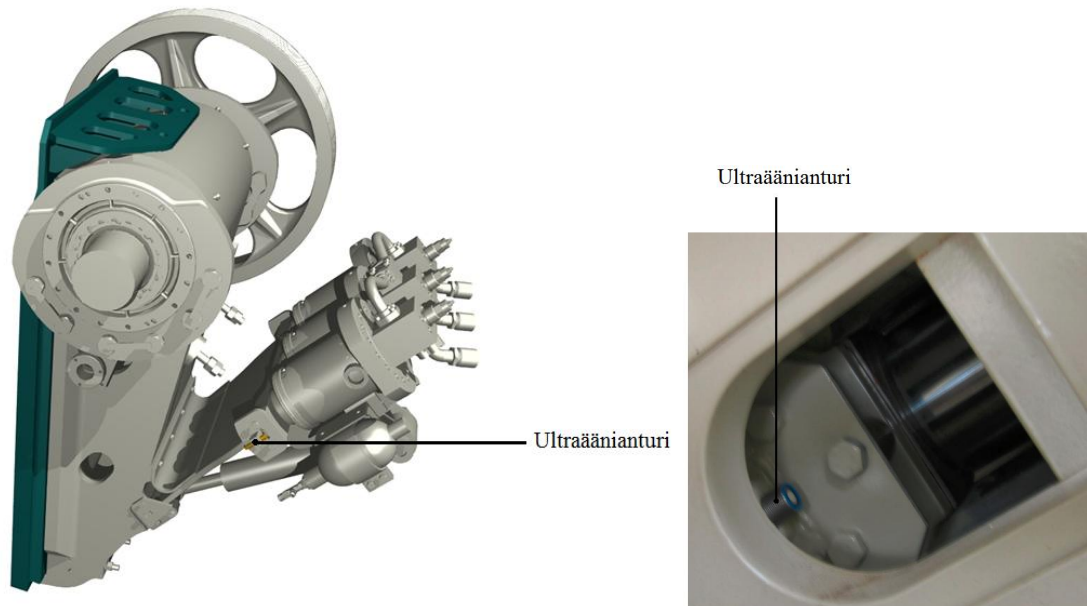
Hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustettuja leukamurskaimia käytetään esimerkiksi kierrätysmateriaalin, sulatoista tulevan kuonan, teollisuusmateriaalien ja muiden ainesten murskaamiseen, joiden seassa saattaa olla suhteellisen suuria murskautumattomia kappaleita. Varolaite toimii kolmen hydraulisynterin avulla, jotka ovat sijoitettuna työnninlaatan taakse. Kuvassa 2.8 on esitetty hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustettu leukamurskain.



Kuva 2.8 Hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustettu Metso C-sarjan leukamurskain. [7]

Sylinterit ovat kiinteästi asennettuina murskaimen runkoon ja niiden takapäättyyn on asennettu paineenrajoitusventtiilit. Murskaimen asetuksen säätö tapahtuu näiden sylintereiden avulla. Järjestelmä toimii hydraulikäyttöisenä varolaitteena paineenrajoitusventtiilien kautta, sekä automaattisena asetuksen säätäjänä. Järjestelmä auttaa säästymään työnninlaatan nurjahtamiselta ja mahdollisilta muiden osien vaurioitumisilta, sekä niistä aiheutuvilta huoltoseisokeilta. [7]

Murskaimen asetusta mitataan jatkuvasti ultraäänianturin avulla. Ultraäänianturi on sijoitettu työnninlaatan sylintereiden puoleiseen liukulaakerin vastinlevyyn. Kuva 2.9 havainnollistaa ultraäänianturin sijainnin.



Kuva 2.9 Ultraäänianturin sijainti hydraulikäyttöisessä varolaitteessa. [7][8]

Kun murskausvoimat ylittävät asetetun raja-arvon, paineenrajoitusventtiilit aukeavat ja murskaimen asetus suurenee. Ultraäänianturi on kytketty säätöjärjestelmään, joka palauttaa automaattisesti asetuksen ennalleen. Hydraulikäyttöinen varolaitte on saatavilla esimerkiksi Metso C96 ja C106 -murskaimiin.

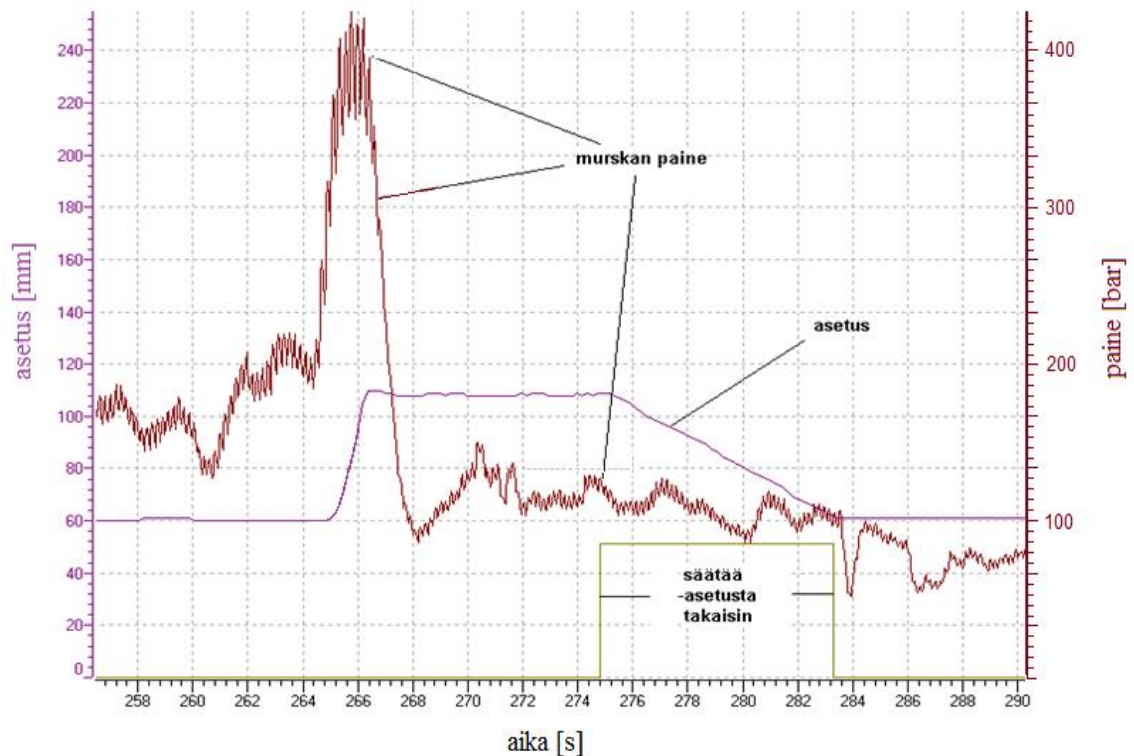
Järjestelmissä on kolme sylinteriä rinnakkain ja kunkin sylinterin takana on paineenrajoitusventtiili. Sylintereiden (3 kpl) yhteenlaskettu avautumisvoima saadaan laskettua kaavalla (2),

$$F = 3(p_1 A_1 - p_2 A_2) \quad (2)$$

missä p_1 on männän puoleisessa kammiossa oleva paine, p_2 männänvarren puoleinen paine, A_1 männän pinta-ala ja A_2 männänvarren puoleinen rengaspinta-ala. Avautumisvoimaa laskettaessa männänvarren puoleisen paineen voi jättää huomioimatta, sillä se on paineistamaton työiskujen aikana. Metso C-sarjan murskaimissa on käytössä kaksi hieman eri tavalla toimivaa hydraulikäyttöistä varolaitteita. [9]

Metso C120 -murskaimeen saatava ASC-järjestelmä toimii seuraavalla tavalla: Murskauksen aikana (työiskun aikana) männän puoleinen kammio paineistuu kuormituksen mukaan ja vastapuoli, eli männänvarren puoleinen paine laskee nolnaan. Työiskujen välissä vastapuoli paineistuu ja männän puoleinen kammio on paineistamaton. Tässä järjestelmässä molemmat puolet paineistuvat vuoron perään vähentäen öljyn joustosta aiheutuvaa männän liikettä. [9]

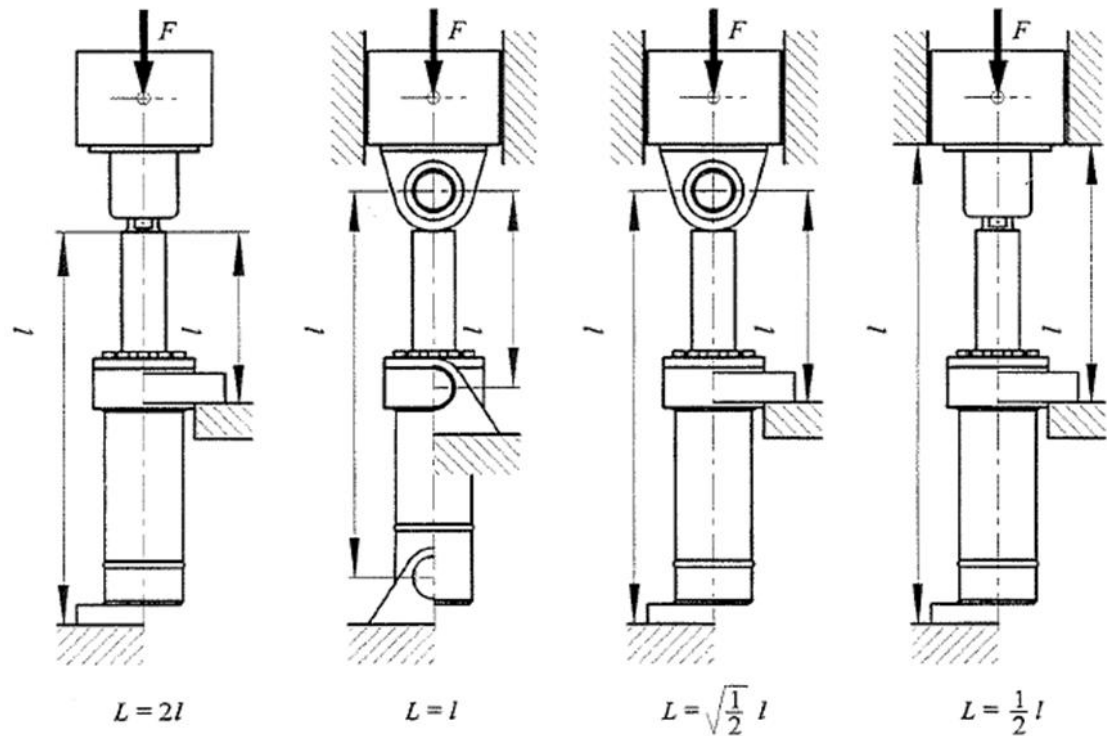
Muissa hydraulikäyttöisissä varolaitteissa vain männän puoleinen kammio paineistuu kuormituksen mukaan, vastapuoli on aina paineistamaton. [9] Hydraulikäyttöisen varolaitteen toimintaa havainnollistava kuvaaja on esitetty kuvassa 2.10.



Kuva 2.10 Hydraulikäyttöisen varolaitteen toimintaperiaatekuvaaja. [7]

Kuvassa 2.10 pystyakselilla on murskaimen asetus [mm] ja vaaka-akselilla aika [s]. Paineenrajoitusventtiilit ovat säädetty 300 bariin. Murskaimen työninlaatan takana oleville sylintereille kohdistuva paine on merkattuna punaisella viivalla. Murskaimen asetus on säädetty 60 millimetriin. Ajankohdan 264 s jälkeen murskaimen kitaan on joutunut kovaa murskautumatonta ainesta, jolloin murskaimen paine alkaa kasvamaan. Kun paine varolaitteen sylintereillä ylittää 300 bar murskaimen asetus alkaa aueta jolloin aines pääsee etenemään ja paine laskee. Asetus pysyy auki 10 sekuntia, jonka jälkeen se säädetään alkuperäiseen asetusarvoon. Hydraulikäyttöisen varolaitteen hydraulikaavio on liitteenä 2.

Tarkastellaan varolaitteen sylintereiden nurjahtamista. Ensin on selvitettävä sylintereiden redusoitu pituus, joka riippuu sylinterin iskunpituudesta ja kiinnitystavasta. Sylinterin redusoidun pituuden ratkaisut erilaisille sylinterin kiinnitystavoille on kuvassa 2.11. [10, s. 148–149]



Kuva 2.11 Sylinterin redusoidun pituuden ratkaiseminen. [10, s. 148]

Hydraulikäyttöisen varolaitteen sylinterit ovat tukevasti tuettuina takapäästään ja männänvarret ovat liukulaakerin takapintaa vasten. Sylinterin redusoitu pituus ratkaistaan kuvan 2.11 mukaan ensimmäisellä ratkaisutavalla.

Sylintereiden nurjahdusvoima voidaan laskea kaavalla (3),

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{nL^2} \quad (3)$$

jossa E on teräksen kimmokerroin, I on sylinterin poikkipinnan jäyhyysmomentti, n on varmuuskerroin ja L on sylinterin redusoitu pituus. Teollisuudessa varmuuskertoimena käytetään yleensä arvoa 3 – 5. [10, s. 148] Sylinterin jäyhyysmomentti voidaan laskea kaavan (4) avulla, missä d on sylinterin männänvarren halkaisija.

$$I = \frac{d^4 \pi}{64} \quad (4)$$

Lisäksi on otettava huomioon, että edellä olevat kaavat pätevät vain silloin kun männänvarren jännitys on pienempi kuin materiaalin myötöraja. Tyypillinen ruostumattoman teräksen myötöraja on 520 MPa. [11]

3 VOIMAN MITTAAMINEN

Voiman ja paineen mittaaminen tapahtuu yleisimmin antureilla, joissa on venymäliuskaelementit. Kappaleeseen kohdistunut voima aiheuttaa muodonmuutoksen kappaleessa. Muodonmuutosta kutsutaan venymäksi ja venymä voidaan mitata esimerkiksi venymäliuska-anturilla. Venymän avulla voidaan laskea kappaleeseen kohdistuva voima, kun venymän suuruus, kappaleen kimmokerroin, sekä venymään kohdistuva poikkileikkauspinta-ala tiedetään. [12, s. 1]

Venymäliuskaelementit eivät itsessään kerro venymää, vaan ne muuttavat mitattavan kohdesuureen sähköiseen muotoon. Koska kohdesuureen aiheuttamat muutokset venymäliuskan sähköisiin ominaisuuksiin ovat erittäin pieniä, käytetään hyväksi Wheatstonen siltakytkentää vahvistamaan näitä muutoksia. Lisäksi käytetään A/D-muuntimia, jolla sähköinen signaali saadaan muutettua digitaaliseen muotoon, jolloin mittaustietoja voidaan edelleen käsitellä tietokoneella. [13, s. 35]

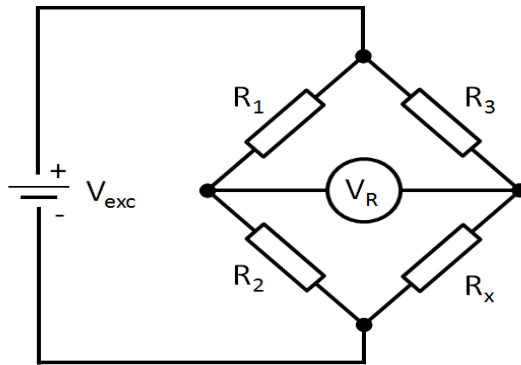
3.1 Venymäliuskat ja wheatstonen silta

Venymäliuskojen toiminta perustuu niiden tuntoelimen muodonmuutokseen. Niiden tuntoelimenä toimivan langan resistanssi muuttuu langan muodon muuttuessa. Langan resistanssi saadaan laskettua kaavalla (5)

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (5)$$

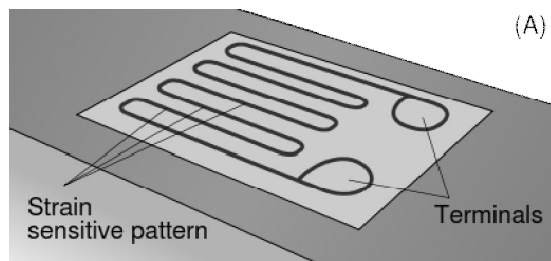
missä ρ on lankamateriaalin ominaisresistanssi, l on langan pituus ja A on langan poikkipinta-ala. Venymäliuska siis muuntaa mitattavan kohteen muodonmuutoksen venymäliuskan resistanssin muutokseksi. Venymäliuskat ovat herkkiä antureita ja niillä voidaan mitata hyvinkin pieniä muodonmuutoksia. Venymäliuskat kiinnitetään kohteeseensa tyypillisesti liimaamalla. Ne voivat myös olla integroituna johonkin toiseen tuntoelimeen, esimerkiksi paineanturiin. [13, s. 103–104]

Venymäliuska-anturin resistanssin muutos pitää muuntaa virraksi tai jännitteeksi, jotta sitä voidaan siirtää eteenpäin ja muokata. Tätä varten käytetään resistanssin mittaamiseen soveltuvaa mittaussiltaa. Wheatstonen siltakytkentää käytetään yleisimmin tuntemattoman resistanssin mittaukseen. [13, s. 113–115] Lisäksi venymät ovat hyvin pieniä, jolloin myös venymäliuskan vastusarvo muuttuu hyvin vähän. Wheatstonen siltaa käytetään myös voimistamaan tätä liuskan venymästä aiheutuvaa resistanssimuutosta. Wheatstonen sillan piirikaavio on kuvassa 3.1.



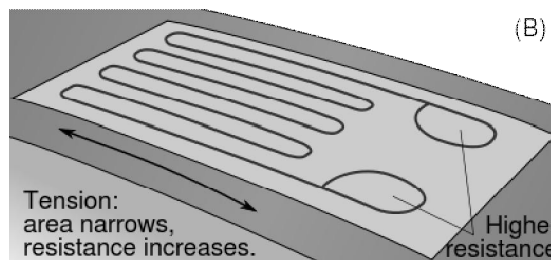
Kuva 3.1 Wheatstonen sillan piirikaavio. [14]

Venymäliuskamittauksissa yksi tai useampi Wheatstonen sillan vastus korvataan venymäliuskalla. Jos yksi vastus on korvattu venymäliuskalla, kytkentää kutsutaan neljäsosa sillaksi. Vastaavasti venymäliuskoilla voidaan korvata kaksi tai kaikki Wheatstonen sillan vastukset. Näitä kytkentöjä kutsutaan puoli- ja kokosillaksi. Esimerkiksi kahdella tuntoelimellä voidaan toteuttaa venymäsilta, jossa toisen liuskan venyessä toinen liuska puristuu. Venymäsiltaa voidaan käyttää myös kompensoimaan lämpötilanmuutoksesta aiheutuvat resistanssin muutokset. Venymäliuskan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.2. [13, s. 117–118]



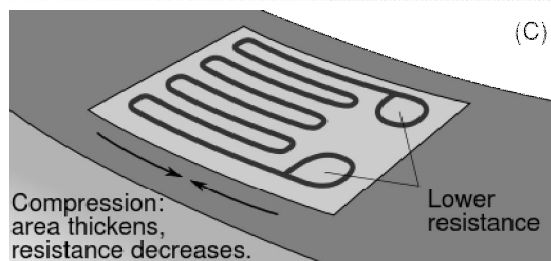
(A)

(A) Venymäliuskan tuntoelin on mutkittelevan johdinlangan mallinen. Johdot kytketään langan päätyihin, joista tuntoelimen resistanssi mitataan.



(B)

(B) Venymäliuskan venymä kuvan nuolen osoittamaan suuntaan saa venymäliuskan resistanssin kasvamaan sillä tuntoelimen johdinlangan poikkipinta-ala pienenee.



(C)

(C) Puristuminen saa venymäliuskan resistanssin pienenemään. Tuntoelimen johdinlangan poikkipinta-alan kasvu aiheuttaa resistanssin pienenemisen.

Kuva 3.2 Venymäliuskan toimintaperiaate. [15]

Venymäliuskan asennolla on suuri merkitys mittaamisen kannalta. Liuska tulee asentaa sen suuntaisesti, minkä suunnan venymiä halutaan mitata. Liuskat asennetaan

käyttäen siihen soveltuvaa liimaa. Liuskojen asennuspintojen tulee olla hiotut ja liuottimella puhdistetut.

3.2 Venymästä voimaksi

Kun materiaalin venymä tiedetään, voidaan tämän avulla laskea siihen kohdistuva voima. Hooken lain mukaan voima on suoraan verrannollinen kappaleen venymään materiaalin kimmorajaan asti. Laki voidaan kirjoittaa yleiseen muotoon (6), [16, s. 41–42]

$$\sigma = E\varepsilon \quad (6)$$

missä jännitys σ on kimmokertoimen E ja suhteellisen muodonmuutoksen ε tulo. Suhteellinen muodonmuutos kertoo kappaleen pituuden muutoksen suhteessa sen alkuperäiseen pituuteen. Suhteellinen pituuden muutos lasketaan kaavalla (7),

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (7)$$

missä Δl on kappaleen venymä ja l alkuperäinen pituus. Venymäliuskamittauksissa muodonmuutokset ovat hyvin pieniä, niinpä suhteellinen venymä ilmoitetaan yleensä miljoonasosina. Pientä suhteellista venymää kutsutaan yleisesti mikrostrainiksi [$\mu\varepsilon$], joka tulee englannin kielisestä sanasta ”microstrain”. Mikrostrain ilmoittaa suhteellisen venymän miljoonasosina. Kun tasapaksun kappaleen poikkipinta-ala A tiedetään voidaan kappaleeseen kohdistuva voima laskea kaavalla (8). [17][15, s. 41–42]

$$F = A\sigma \quad (8)$$

Kun kaavan (8) jännityksen paikalle sijoitetaan kaava (6), voidaan kappaleeseen kohdistuva voima edelleen laskea kaavalla (9).

$$F = AE\varepsilon \quad (9)$$

Kaavalla (9) voidaan siis laskea kappaleeseen kohdistuva voima, kun sen poikkleikkauspinta-ala A , suhteellinen pituuden muutos ε ja materiaalin kimmokerroin E tiedetään.

3.3 Työnninlaattaan kohdistuvien murskausvoimien mittaaminen

Työnninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat voivat olla hyvin suuria, joten niiden suuruus on hyvä tietää ennen kuin voidaan tarkastella sopivia työnninlaatan anturointi-vaihtoehtoja. Tässä luvussa tarkastellaan kuinka työnninlaattaan tulevat murskaus-

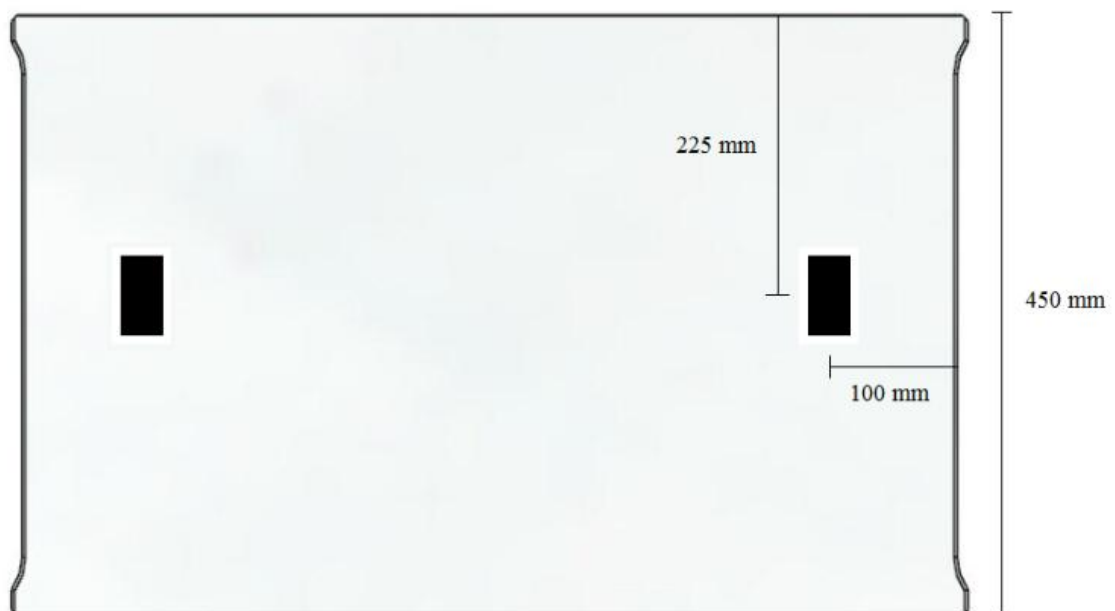
voimat saadaan mitattua tavallisesta leukamurskaimesta ja hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetusta leukamurskaimesta.

Työnninlaattaan kohdistuvat voimat olisi kaikkein yksinkertaista mitata voima-antureilla, jotka asennettaisiin työnninlaatan taakse. Kuvista 2.5 ja 2.6 nähdään, että leukamurskaimen rakenne ja työnninlaatan tuenta on kuitenkin toteutettu tavalla joka ei mahdollista voima-antureiden asennusta sellaisenaan, vaan tätä varten pitäisi tehdä rakenteellisia muutoksia ainakin toiseen työnninlaatan tuentapäähän. Murskaimen rakennetta ei haluta muuttaa vaan käytetään mittaustapaa, jolla voimat saadaan mitattua suoraan työnninlaatasta. Tämä voidaan suorittaa esimerkiksi venymäliuskoilla. Jos leukamurskain on varustettu hydraulikäyttöisellä varolaitteella, niin voimat voidaan mitata myös sylinteripaineista. Tarkastellaan kummankin mittaustavan suoritus.

3.4 Tavallisen leukamurskaimen työnninlaatan voimien mittaaminen

Työnninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat voidaan selvittää käyttämällä venymäliuska-antureita. Venymäliuskojen avulla saadaan työnninlaatan puristuma mitattua, jonka avulla saadaan edelleen kohteen jännitys selville. Jännityksestä voidaan laskea voima kun kohteen poikkileikkauspinta-ala tiedetään.

Työnninlaattaan asennetaan yhteensä neljä venymäliuskaa. Kaksi venymäliuskaa laatan päälle ja kaksi sen alle kuvan 3.3 osoittamalla tavalla. Venymäliuskojen paikat ovat kuvattuna mustilla suorakaiteilla.



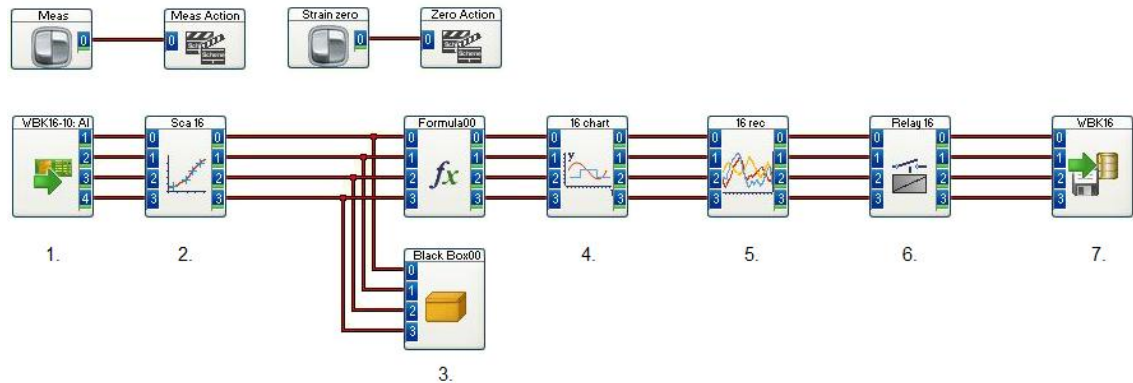
Kuva 3.3 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimamittausten venymäliuska-aiikat.

Venymäliuskat asennetaan murskausvoimien suuntaisesti keskelle työnninlaattaa sen pituuteen nähden. Niiden asennuskohta on esimerkiksi C80-murskaimessa 225 mm

työnninlaatan päädyistä ja 100 mm työnninlaatan sivulta. Venymäliuskat asennetaan samaan kohtaan laatan molemmille puolille. Asennuspinnat hiotaan ja puhdistetaan huolellisesti ennen venymäliuskojen liimausta.

Liuskojen asennustapa muistuttaa venymäsiltää, jossa työnninlaatan taipuessa toinen liuskoista venyy ja toinen puristuu. Jokainen liuska on kuitenkin kytketty korvaamaan yksi Wheatstonen sillan vastus, eli ne ovat neljännessiltakytkettyjä. Venymäliuskat kytketään Iotechin valmistamaan kahdeksan kanavaiseen WBK16-venymäliuskamoduliin. WBK16-moduli on kytketty WBK516E-tiedonkeruuyksikköön joka muuntaa signaalin digitaaliseksi. Venymäliuskoina käytetään Kyowan valmistamia yleiskäyttöisiä venymäliuskoja. Venymäliuskan tietoja on liitteenä 3.

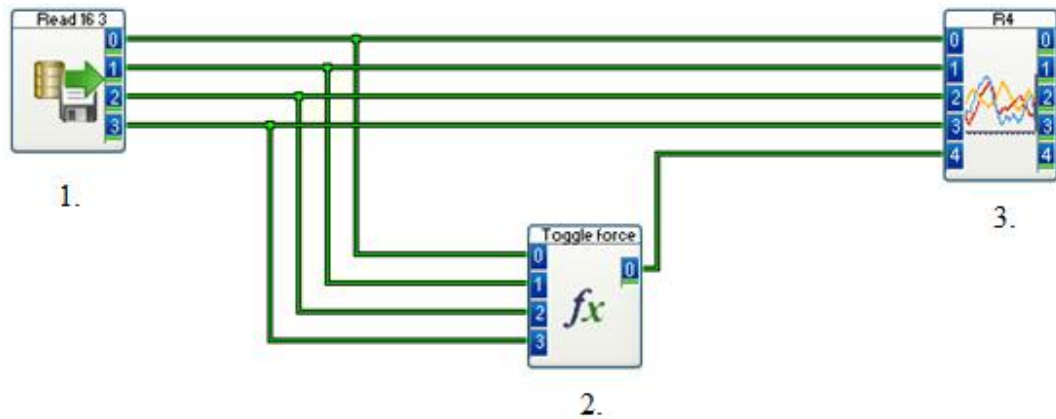
Mittaustiedot käsitellään tietokoneella DASYLab-ohjelmalla. DASYLab on lohko-kaaviopohjainen tiedonkeruuohjelma, jolla voidaan käsitellä ja tarkastella mittaussignaalia. Työnninlaattavoimamittauksiin voidaan käyttää kyseisen mukaista DASYLab-mittauspohjaa, joka on esitetty kuvassa 3.4.



Kuva 3.4 DASYLab-mittauspohja työnninlaattavoimille.

Kuvan 3.4 ensimmäinen lohko kuvaa WBK16-modulia, jonka neljään ensimmäiseen kanavaan on liitetty venymäliuska-anturit. Toinen lohko sisältää venymäliuskojen kalibroinnista saadut skaalausarvot. Skaalauksella liuskosten näyttämä muutetaan venymästä materiaalin jännitykseksi. Kolmannessa osuudessa suoritetaan liuskosten alkuarvojen nollaus. Neljännessä lohkoista voidaan tarkastella mittausdataa mittauksen aikana. Mittausdata piiryy viidenteen lohkoon, josta voidaan katsoa mittausdataa mittauksien jälkeen. Kuudes lohko toimii kytkimen tavoin, eli sillä voidaan käynnistää datan tallentaminen tietokoneeseen. Seitsemäs lohko tallentaa datan.

Tallennettua mittausdataa voidaan edelleen tarkastella DASYLab-ohjelmalla mittauksien jälkeen. Työnninlaattavoimamittauksissa käytetty mittausdatan analyysipohja on esitetty kuvassa 3.5. Analyysipohjan avulla voidaan tarkastella saatuja työnninlaattajännityksiä, sekä muuntaa mittauksista saadut jännitysarvot työnninlaattavoimaksi.



Kuva 3.5 DASYLab-analyysipohja työninlaattavoimille.

Kuvan 3.5 vasemmalla oleva ensimmäinen lohko lukee tallennetun mittausdatan. Toisen lohkon avulla kerätään työninlaattajännitykset ja lasketaan työninlaattaan kohdistuva voima. Kolmas lohko piirtää mittausdatan.

Kuvan 3.5 lohko 2 sisältää kaavan, jonka avulla työninlaattajännitykset muutetaan työninlaattavoimaksi. Työninlaattaan kohdistuva voima voidaan laskea kaavan (10) avulla, kun sen poikkileikkauspinta-alaan kohdistuva jännitys tiedetään.

$$F_{\text{työnnin}} = \frac{(IN(0) + IN(1) + IN(2) + IN(3))}{4} A_{\text{poikkileikkaus}} * 1,098 \quad (10)$$

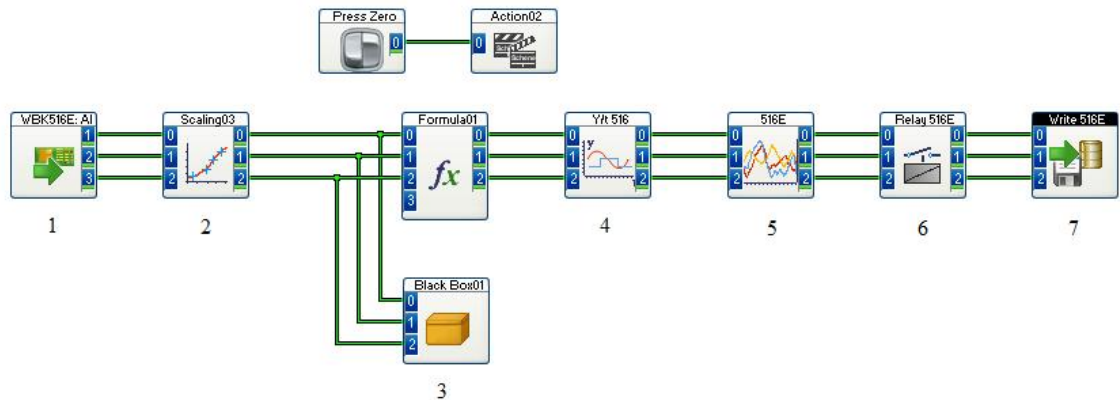
Neljästä venymäliuskasta saadut jännitysarvot $IN(0)$, $IN(1)$, $IN(2)$ ja $IN(3)$ lasketaan yhteen ja jaetaan neljällä niiden keskiarvojännityksen saamiseksi. Keskiarvojännitys kuvaa työninlaatan poikkileikkauspinta-alalle tasaisesti jakautunutta jännitystä. $A_{\text{poikkileikkaus}}$ on työninlaatan poikkileikkauspinta-ala sen kesikohdasta. Kerroin 1,098 on Metso Minerals Oy:n työninlaattavoiman laskennassa käytetty korjauskerroin. [9]

3.5 Hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetun leukamurskaimen työninlaatan voimen mittaus

Hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetun leukamurskaimen työninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat voidaan selvittää kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on täysin sama kuin luvussa 3.4 käsitelty tavallisen työninlaatan voimien mittaus venymäliuska-antureiden avulla. Toinen tapa on mitata varolaitteen sylintereiden painetta ja muuttaa tämä työninlaattavoimaksi.

Jokainen varolaitteen sylinteri on kytketty omaan paineenrajoitusventtiiliin ja jokaisen sylinterin paine mitataan omalla anturilla. Sylintereiden paineet mitataan paineantureiden avulla. Paineantureiden lisäksi halutaan myös mitata varolaitteen sylintereiden liikettä. Paineanturit kytketään IOtechin valmistamaan kahdeksan kanavaiseen WBK516E-moduliin. Mittaustiedot kerätään ja käsitellään DASYLab-

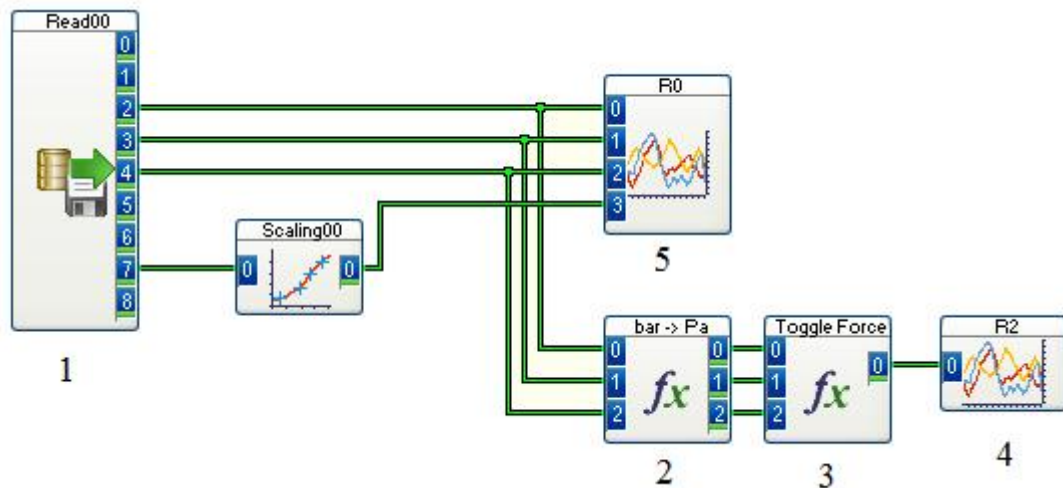
mittausohjelmalla. DASYLab-mittauspohja sylintereiden paineantureille on kuvassa 3.6.



Kuva 3.6 DASYLab-mittauspohja hydraulikäyttöisen varolaitteen paineantureille.

Kuvan 3.6 ensimmäinen lohko kuvaa WBK516E-modulia, jonka kolmeen kanavaan on kytketty paineanturit. Toinen lohko sisältää paineantureiden skaalausarvot, jossa esimerkiksi 0 – 10 V skaalataan 0 – 400 bar. Kolmas lohko suorittaa tarvittaessa paineantureiden alkuarvojen nollauksen. Neljännestä lohkosta pystytään katsomaan mittasignaalia mittauksen aikana. Viides lohko piirtää mitatun signaalin. Kuudes ja seitsemäs lohko käynnistää mittausdatan tallentamisen tietokoneeseen.

Tallennettua mittausdataa voidaan edelleen käsitellä DASYLab-ohjelmalla. Paineantureiden mittaus tulosten analyysipohja on esitetty kuvassa 3.7.



Kuva 3.7 DASYLab-analyysipohja hydraulikäyttöisen varolaitteen paineantureille.

Kuvan 3.7 ensimmäinen lohko tuo tallennetun paineantureiden mittausdatan, tässä pohjassa kanavista 2, 3 ja 4. Toinen lohko sisältää kaavan joka tekee yksikkömuunnoksen (bar → Pa). Kolmas lohko sisältää laskukaavan (11), joka laskee kolmen sylinterin keskiarvopaineen ja laskee varolaitteen sylintereille tulevan voiman.

$$F_{syl} = \frac{IN(0) + IN(1) + IN(2)}{3} 3A_{cyl\ m\grave{a}nt\grave{a}} \quad (11)$$

$IN(0)$, $IN(1)$ ja $IN(2)$ ovat ASC-järjestelmän sylintereiden paineet. Paineet lasketaan yhteen ja otetaan niiden keskiarvo jolla kerrotaan kolmen sylinterin männän pinta-ala $A_{cyl\ m\grave{a}nt\grave{a}}$. Sylintereille tuleva voima on teoreettisesti sama kuin työnнинlaataan kohdistuva voima. Neljäs lohko piirtää sylintereille tulevan voiman. Viides lohko piirtää erikseen kunkin sylinterin paineet sekä murskaimen asetuksen.

Hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereiden liikettä tarkkaillaan ultraäänianturin avulla. Ultraäänianturi on sijoitettu kuvan 2.9 tavoin. Anturi näyttää suoraan varolaitteen sylintereiden liikkeen. Murskaimen asetus saadaan skaalaamalla sylintereiden liike murskaimen kidan liikkeeksi. Tämä tapahtuu DASYLab-pohjassa esimerkiksi käyttämällä skaalauslohkoa. Skaalauslohko on kytketty kuvan 3.7 lohkon 1 kanavaan 7, joka siis ilmoittaa varolaitteen sylintereiden aseman ja skaalauslohko muuntaa sen murskaimen asetukseksi.

3.6 Leukamurskaimen työnнинlaatan toispuoleisien voimien tunnistus

Leukamurskaimen kita saattaa kuormittua toiselta laidaltaan enemmän kuin toiselta. Kita on tällöin kuormittunut toispuoleisesti. Toispuoleinen kidan kuormittuminen saattaa kuormittaa myös työnninlaattaa toispuoleisesti. Työnнинlaatan toispuoleinen kuormittuminen taas saattaa johtaa sen laakeripintojen epätasaiseen kulumiseen tai jopa niiden vaurioitumiseen. Tässä luvussa tarkastellaan kuinka toispuoleisia työnninlaattaa kohdistuvia kuormia voidaan mitata tavallisesta leukamurskaimesta sekä hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetusta leukamurskaimesta.

Hydraulikäyttöisessä varolaitteessa on kolme hydraulisynteriä rinnakkain joista kaksi on työnninlaatan laidoilla ja yksi keskellä. Toispuoleisien työnninlaattavoimien tarkasteluun käytetään laitimmaisten sylintereiden paineita ja lasketaan niistä niihin kohdistuva voima, joka on siis samalla työnninlaatan laitoihin tuleva voima. Keskimmäisen sylinterin paineesta saadaan työnninlaatan keskelle kohdistuva voima. Puolet keskimmäisen sylinterin voimasta lisätään molemmille laitasylintereille kohdistuviin voimiin. Toispuoleisien työnninlaattavoimien laskentakaavojen perusteet on esitettyä kaavoissa (12) ja (13) hydraulikäyttöisen varolaitteen osalta.

$$F_{toggle_right_p} = \left(F_{cyl_right} + \frac{F_{cyl_middle}}{2} \right) \quad (12)$$

$$F_{toggle_left_p} = \left(F_{cyl_left} + \frac{F_{cyl_middle}}{2} \right) \quad (13)$$

F_{toggle_right} on työninlaatan oikeaan laitaan kohdistuva voima ja F_{toggle_left} vasempaan laitaan kohdistuva voima. F_{cyl_right} , F_{cyl_left} ja F_{cyl_middle} ovat varolaitteen oikeaan, vasempaan ja keskimmäiseen sylinteriin kohdistuvat voimat.

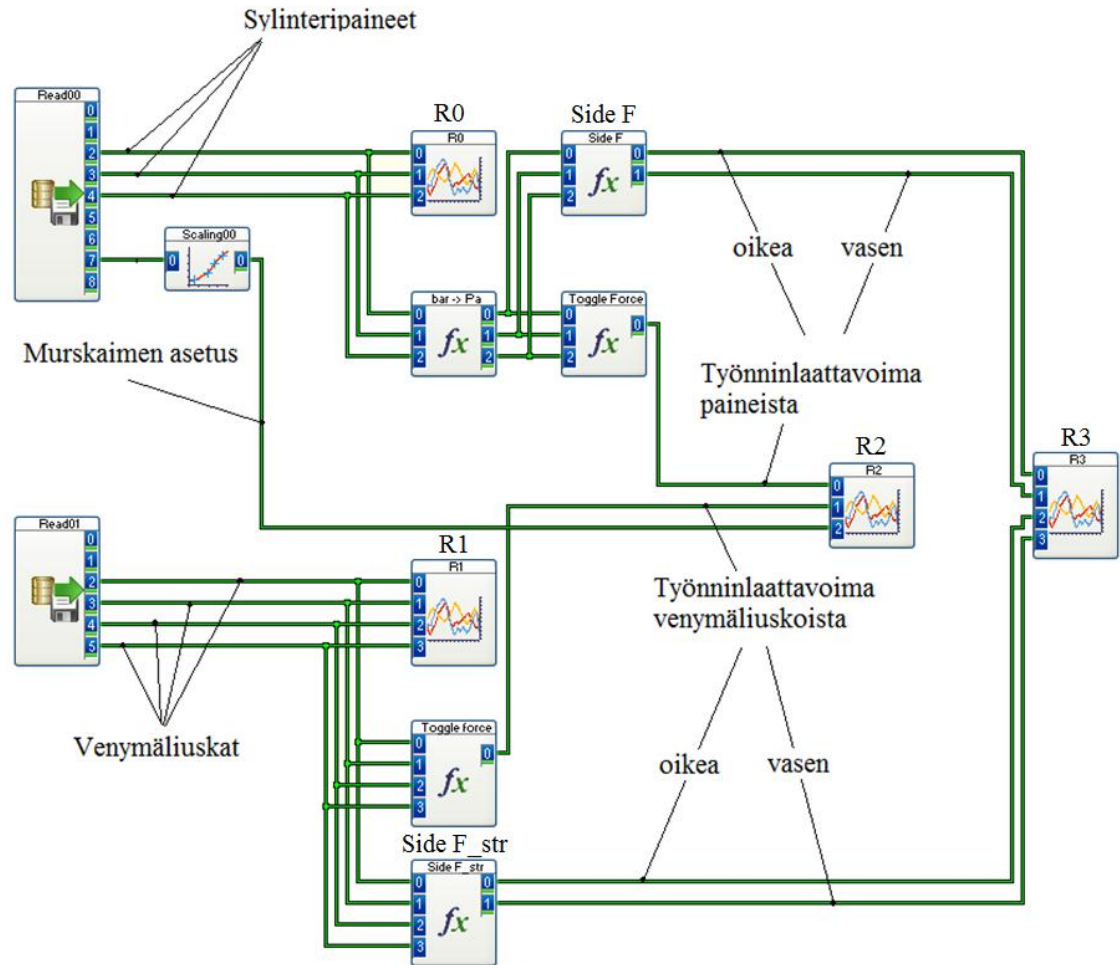
Venymäliuskamittauksissa toispuoleiset voimat saadaan kun tarkastellaan työninlaatan kummallekin puolelle liimattujen venymäliuskojen antamia jännitysarvoja. Jännitysarvot muutetaan työninlaatan toispuoleiseksi voimaksi kaavan (8) avulla. Työninlaatan poikkileikkauspinta-ala jaetaan kahdella ja kerrotaan toispuoleisen jännityksen keskiarvolla. Toispuoleisten työninlaattavoimien laskenta-kaavojen perusteet on esitettyä kaavoissa (14) ja (15) venymäliuskamittauksien osalta.

$$F_{toggle_right_strain} = \frac{\sigma_{toggle_right_up} + \sigma_{toggle_right_down}}{2} * \frac{A_{toggle}}{2} \quad (14)$$

$$F_{toggle_left_strain} = \frac{\sigma_{toggle_left_up} + \sigma_{toggle_left_down}}{2} * \frac{A_{toggle}}{2} \quad (15)$$

$F_{toggle_right_strain}$ on työninlaatan oikeaan puoleen kohdistuva voima ja $F_{toggle_left_strain}$ vasempaan laitaan kohdistuva voima. Termit $\sigma_{toggle_right_up}$, $\sigma_{toggle_right_down}$, $\sigma_{toggle_left_up}$ ja $\sigma_{toggle_left_down}$ ovat työninlaatan jännitykset eri kohdissa.

Mittaustulosten tarkastelua varten tehtiin DASYSLab-analyysipohja, joka sisältää toispuoleisten työninlaattavoimien laskemiseen tarvittavat kaavat. Analyysipohja laskee molemmilla mittausten menetelmillä saadut työninlaattavoimat sekä molemmilla mittausten menetelmillä saadut toispuoleiset työninlaattavoimat. Analyysipohja on esitetty kuvassa 3.8.



Kuva 3.8 DASYLab-analyysipohja hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetun leukamurskaimen työnninlaattavoimille.

Kuvan 3.8 analyysipohjalla voidaan tarkastella eri mittausmenetelmillä saatuja työnninlaattavoimia ja toispuoleisia työnninlaattavoimia. Kuvassa 3.8 kuvan 3.5 ja 3.7 mukaiset analyysipohjat on tuotu samaan pohjaan. Tämän lisäksi pohjaan on lisätty laskentalohkot "Side F" ja "Side F_str" toispuoleisille työnninlaattavoimille. Lohko "Side F" laskee toispuoleiset työnninlaattavoimat varolaitesylintereiden paineista kaavojen (12) ja (13) periaatteella. Lohko "Side F_str" laskee toispuoleiset työnninlaattavoimat työnninlaattaan liimattujen venymäliuskojen antamista jännityksistä kaavojen (14) ja (15) periaatteella. Molemmista laskentalohkoista lähtee kaksi ulostuloa, joista toinen on työnninlaatan vasemmalle puolelle tuleva voima ja toinen oikealle puolelle tuleva voima.

Kuvan 3.8 piirtolohkosta R0 voidaan tarkastella kunkin varolaitesylinterin paineita. Piirtolohkosta R1 voidaan katsoa kunkin työnninlaattaan liimatun venymäliuska-anturin antamia jännitysarvoja. Piirtolohkoon R2 piirtyy molemmilla työnninlaattavoimamittausmenetelmillä saadut työnninlaattavoimat sekä murskaimen asetus. Piirtolohkoon R3 piirtyy kummallakin mittausmenetelmällä saadut toispuoleiset työnninlaattavoimat.

3.7 Työnninlaattavoimien mittausten suoritus

Työnninlaattavoimat mitattiin kolmesta eri Metson leukamurskainmallista: C130, C80 ja C95 -murskaimesta. Valitut C130 ja C80 -murskaimet toimivat tavallisella työnninlaattalla ja C95-murskain oli varustettu hydraulikäyttöisellä varolaitteella. Kaikkien murskaimien työnninlaattaan asennettiin neljä venymäliuska-anturia. Lisäksi C95-murskaimen varolaitteen hydraulisylintereihin asennettiin paineanturit. Näin ollen C95-murskaimen työnninlaattaan kohdistuvia murskausvoimia voidaan tarkastella kahdella eri mittausmenetelmällä ja verrata tuloksia keskenään. Kaikki mittaukset suoritettiin Metso Minerals Oy:n toimesta muiden mittausten yhteydessä.

Seuraavaksi käydään läpi millä tavoin mittaukset suoritettiin ja millaisia syötemateriaaleja testeissä käytettiin. Kunkin murskaimen työnninlaattavoimat mitattiin omilla mittausohjeistuksilla, joten jokainen mittausohjelma oli erilainen.

3.7.1 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaaminen [18]

Metso C80 -murskaimen työnninlaattaan kohdistuvien voimien mittaaminen suoritettiin Metso Minerals Oy:n koeasemalla Tampereella. Mittauksissa käytettiin kuutta eri murskaimeen syötettävää kiviainesta eli syötemateriaalia. Syötemateriaalit ja niiden ominaisuudet näkyvät taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1 Mitatun C80-murskaimen testeissä käytetyt syötemateriaalit. [18]

Syötemateriaali: kivityyppi, sijainti	Murskautuvuus [%]	Kuluttavuus [g/t]	Kiintotiheys [t/m³]
Kalkkikivi, Vampula	62	180	2,72
Graniitti, Kaivanto	55	1360	2,58
Graniitti, Sorila	38	1690	2,61
Gneissi, Ideapark	32	1360	2,72
Vulkaniitti, Takamaa	33	770	2,83
Vulkaniitti, Patavuori	20	1540	2,92

Syötemateriaalien ominaisuudet määritettiin Metso Minerals Oy:n Tampereen toimipisteen kivilaboratoriossa käyttäen standardisoitua murskautuvuus ja kuluttavuustestiä. Murskautuvuus ja kuluttavuusarvotaulukko on nähtävillä liitteenä 4. Murskautuvuusarvo kuvaa kivimateriaalin kovuutta ja sen kykyä vastustaa murskausta. Mitä pienempi murskautuvuusarvo on, sitä lujempaa kivimateriaali on. Kuluttavuusarvo kuvaa materiaalin kuluttavuusominaisuuksia. Syötemateriaalien kokoluokka, eli kivien kokojakauma oli 100 – 400 mm.

Jokaisella eri kiviaineksella tehtiin kolme testiä 50 mm:n murskaimen asetuksella ja kolme testiä 90 mm:n murskaimen asetuksella. Erilaisia kivimateriaaleja oli kuusi, joten testejä tehtiin yhteensä 36 kpl. Murskaimen isku oli 24 mm ja pyörimisnopeus 355 rpm. Kussakin testissä murskattiin 2 – 2,5 tonnia syötemateriaalia ja murskaimen kita pyrittiin pitämään täynnä testin ajan.

Mittauksista otettiin talteen työninlaattaan kohdistuvan voiman tehollisarvo (Toggle plate force RMS) ja työninlaattaan kohdistuva maksimivoima (Toggle plate force MAX). Työninlaattavoiman tehollisarvo kertoo keskiarvovoiman murskauksen aikana ja maksimivoima suurimman työninlaattaan kohdistuvan voiman. Mittaustulokset on liitteenä 5.

3.7.2 Metso C130 -murskaimen työninlaattavoimien mittaaminen

Metso C130 -murskaimen työninlaattaan asennettiin neljä venymäliuska-anturia samoin tavoin kuin C80-murskaimen työninlaattavoimamittauksissa. Venymäliuskat asennettiin keskelle työninlaattaa 100 mm:n päähän reunoista laatan kummallekin puolelle. Kuvia liuskoitetusta C130-murskaimen työninlaatasta on nähtävillä liitteessä 6.

Metso C130 -murskaimen työninlaattavoimien mittaukset suoritettiin Espoossa Kulmakorvessa Rudus Oy:n murskeentuotantolaitoksella. Syötemateriaalin ominaisuudet näkyvät taulukossa 3.2. Syötemateriaali oli suoraan kalliosta räjäytettyä louhetta kooltaan 0 – 600 mm.

Taulukko 3.2 Mitatun C130-murskaimen testeissä käytetty syötemateriaali. [19]

Syötemateriaali: sijainti	Murskautuvuus [%]	Kuluttavuus [g/t]	Kiintotiheys [t/m ³]
Kulmakorpi	47	1360	2,64

Louhe kaadettiin maansiirtoautolla syöttökuljettimelle josta se ohjautui murskaimen kitaan. Murskaimen kita pyrittiin pitämään täynnä testin ajan. Mittauksia tehtiin yhteensä 16 kappaletta. Kukin testi kesti noin 20 min ja ne kaikki tehtiin käyttäen samaa syötemateriaalia. Murskaimen kierrosnopeus oli 220 rpm.

Mittausten aikana tehty pöytäkirja on liitteenä 7. Pöytäkirjaan on merkitty kaikki mittauksissa mukana olleet venymäliuska-anturit, siirtymäanturit, teho, kierrosnopeus ja vaa'an signaalit sekä niiden mittamodulit. Tässä työssä tarkastellaan vain työninlaattaan kiinnitettyjä venymäliuskoja.

Yksi työninlaatan venymäliuskoista leikkasi huippujännitykset pois, sillä sen mittaalue ei ollut tarpeeksi laaja. Mittaustulokset laajennettiin kolmeen viimeiseen testiin. Tämän takia tähän työhön otettiin mittaustulokset vain näistä kolmesta viimeisestä testistä T 2_6, T 2_7 ja T 2_8. Nämä testit ajettiin 70 mm:n, 90 mm:n ja 110 mm:n murskaimen asetuksilla. Mittaustulokset näistä on nähtävillä liitteessä 8.

3.7.3 Metso C95 -murskaimen työninlaattavoimien mittaaminen [8]

Metso C95 -murskain oli varustettu hydraulikäyttöisellä varolaitteella, joten työninlaattaan kohdistuvia voimia pystyttiin mittaamaan työninlaatan takana olevien hydraulisylintereiden paineista. Mitatut paineet muutetaan työninlaattavoimaksi, kun hydraulisylinterien mäntien halkaisijat tiedetään. Metso C95 -murskaimen varolaitteen

sylintereiden männän halkaisijat ovat 200 mm. Painemittauksien lisäksi työnninlaattavoimia mitattiin myös siihen asennettujen venymäliuska-antureiden avulla.

Mitatun C95 -murskaimen hydraulisen varolaitteen mittaukset suoritettiin Metso Minerals Oy:n koeasemalla Tampereella. Testit suoritettiin siten, että murskaimeen syötettiin tavallista kiviainesta sekä rautakimpaleita kuvastamaan kitaan joutunutta vierasta esinettä. Kuvassa 3.8 on murskaimeen syötettäviä rautakimpaleita.



Kuva 3.8 Metso C95 -murskaimen kitaan syötettäviä rautakimpaleita. [8]

Rautakimpaleilla simuloitiin tilannetta jossa murskaimen kitaan on joutunut vieras esine. Joissakin testeissä rautakappale pudotettiin tiettyyn kidan kohtaan jolloin sillä saatiin aiheutettua epätasainen kuorma. Tällä tavalla saadaan mitattua kuinka voimat jakaantuvat työnninlaattaan, kun murskaimen kita kuormittuu epätasaisesti.

Rautakimpaleen avulla kokeiltiin myös varolaitteen toimintaa. Rautakappaleet olivat kooltaan noin 100 – 200 mm ja ne olivat tarpeeksi kovia aiheuttamaan hydraulikäyttöisen varolaitteen paineenrajoitusventtiilien aukeamisen valituilla painetasoilla. Kukin paineenrajoitusventtiili oli säädetty ensimmäisissä testeissä 280 bariin ja viimeisissä testeissä 250 bariin. Varolaitteen sylintereiden iskua tarkkailtiin siihen asennetun ultraäänianturin avulla. Mittauksia tehtiin yhteensä kuusi. Jokaisessa testissä murskaimen kitaan syötettiin kivisyötteen lisäksi rautakappale. Murskaimen asetus oli 33 – 35 mm ja kierrosnopeus 347 rpm.

Kolmessa ensimmäisessä testissä Varolaite_T1, Varolaite_T2 ja Varolaite_T3 murskaimen alkuasetus oli 33 mm ja hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereiden paineenrajoitusventtiilit oli säädetty 280 bariin. Näissä testeissä rautakimpale syötettiin murskaimen kitaan satunnaiseen kohtaan.

Kolmessa viimeisessä testissä Varolaite_T4, Varolaite_T5 ja Varolaite_T6 rautakimpale pyrittiin pudottamaan tiettyyn kohtaan murskaimen kitaan. Hydrauli-

käyttöisen varolaitteen paineenrajoitusventtiilit olivat säädetty 250 bariin. Testissä Varolaite_T4 murskaimen asetus oli 35 mm ja rautakimpale syötettiin kidan oikeaan laitaan. Testissä Varolaite_T5 murskaimen asetus oli 34 mm ja rautakimpale syötettiin kitaan keskelle. Testissä Varolaite_T6 murskaimen asetus oli 35 mm ja rautakimpale syötettiin kidan vasempaan laitaan.

4 TYÖNNINLAATTAVOIMAMITTAUKSIEN TULOKSET

Tässä luvussa tarkastellaan työnninlaattavoimamittausten tuloksia. Työnninlaattavoimia mitattiin kolmesta eri leukamurskainmallista: Metso C-sarjan C80, C130 ja C95 -murskaimesta. Metso C80 ja C130 -murskain oli varustettu tavallisella työnninlaattalla ja C95-murskain oli varustettu hydraulikäyttöisellä varolaitteella. Tarkastellaan ensin C80 ja C130 -murskaimen työnninlaattaan kohdistuvia murskausvoimia.

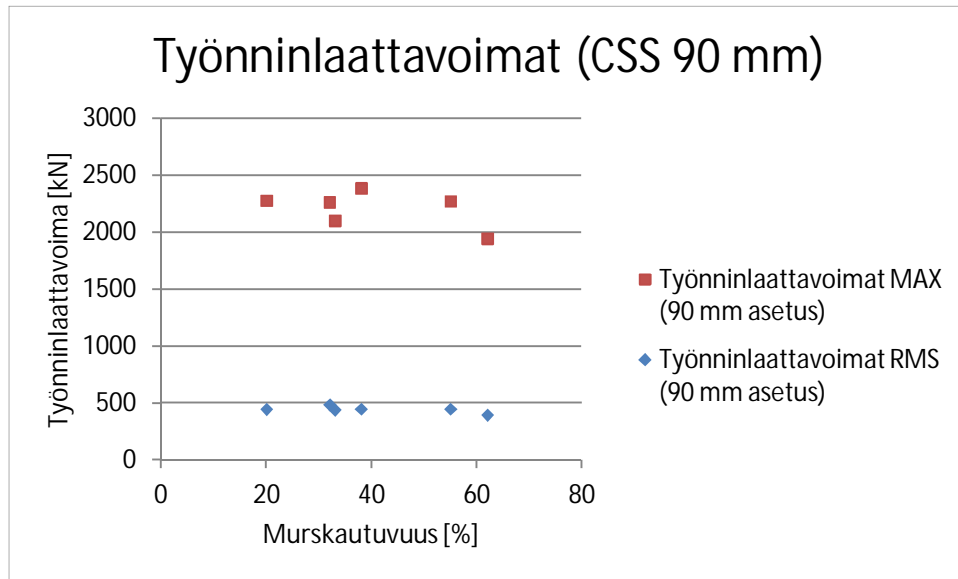
4.1 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 90 mm asetuksella

Metso C80 -murskaimen työnninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat eri materiaaleilla 90 mm asetuksella on koottu taulukkoon 4.1. Taulukkoon on koottu työnninlaattaan kohdistuva maksimivoima (MAX) ja tehollisvoima (RMS) joka aiheutui kunkin eri syötemateriaalin murskauksessa.

Taulukko 4.1 Työnninlaattavoimat eri materiaaleilla 90 mm:n asetuksella.

Syötemateriaalin murskautuvuus [%]	Työnninlaattavoimat RMS [kN]	Työnninlaattavoimat MAX [kN]
62	396	1946
55	450	2274
38	449	2386
32	487	2265
33	443	2104
20	447	2279

Testeissä oli käytössä kuusi eri murskautuvuusarvon omaavaa syötemateriaalia. Jokaisella eri syötemateriaalilla tehtiin kolme toistotestiä 50 mm:n asetuksella ja kolme toistotestiä 90 mm:n asetuksella. Näistä laskettiin keskiarvo työnninlaatan maksimivoimalle (MAX) ja tehollisvoimalle (RMS). Kuva 4.1 havainnollistaa kuinka syötemateriaalin murskautuvuusarvo vaikuttaa työnninlaattaan kohdistuviin murskausvoimiin.



Kuva 4.1 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 90 mm:n asetuksella.

Kuvaan 4.1 on merkattu työnninlaattaan kohdistuvat suurimmat murskausvoimat punaisilla täplillä ja tehollinen murskausvoima sinisillä täplillä. Vaaka-akselilla on testeissä käytettyjen eri materiaalien murskautuvuusarvot.

Suurin työnninlaattavoima oli 2386 kN, joka saavutettiin Sorilan graniitilla jonka murskautuvuusarvo on 38 %. Maksimivoimat eri materiaalien välillä olivat noin 2000 – 2400 kN . Pienimmät murskausvoimat saatiin käyttämällä pehmeintä ja helpoimman murskautuvuusarvon omaavaa Vampulan kalkkikiveä. Työnninlaattavoimien tehollisarvo oli noin 450 – 500 kN. Suurin yksittäinen voimapiikki 2679 kN saavutettiin Patavuoren vulkaniitilla, jonka murskautuvuusarvo on 20 %.

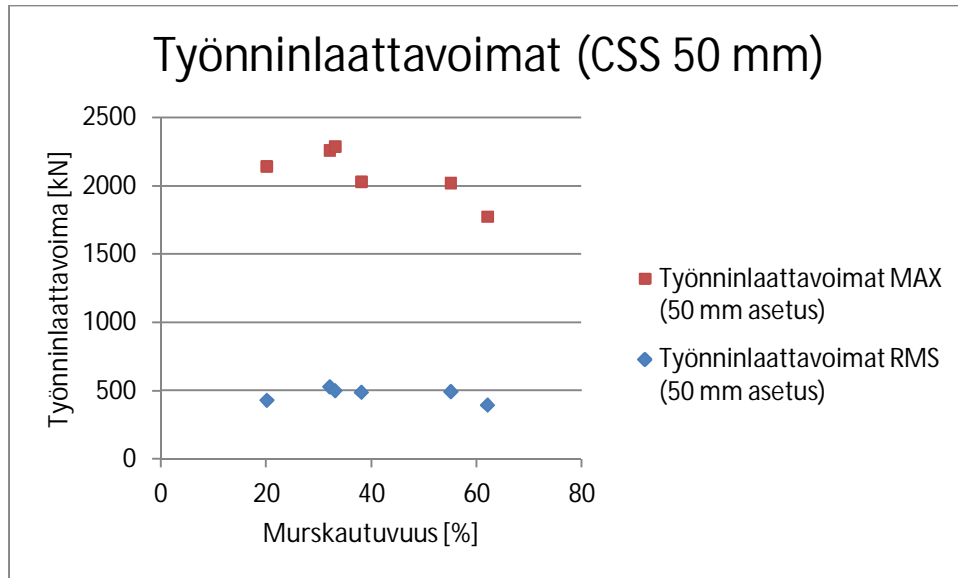
4.2 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 50 mm asetuksella

Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 50 mm:n asetuksella on koottuna taulukkoon 4.2. Taulukkoon on koottu jokaisen eri materiaalin tuottama työnninlaattavoiman maksimiarvo ja tehollisarvo samalla periaatteella kuin taulukossa 4.1.

Taulukko 4.2 Työnninlaattavoimat eri materiaaleille 50 mm:n asetuksella.

Syötemateriaalin murskautuvuus [%]	Työnninlaattavoimat RMS [kN]	Työnninlaattavoimat MAX [kN]
62	399	1777
55	497	2023
38	493	2032
32	533	2263
33	504	2291
20	434	2145

Suurin työnninlaattaan kohdistuva voima oli 2291 kN, joka saavutettiin Takamaan vulkaniitilla jonka murskautuvuusarvo on 33 %. Suurin yksittäinen voimapiikki oli 2672 kN, joka saavutettiin Ideaparkin Mica-gneiss kivimateriaalilla jonka murskautuvuusarvo on 32 %. Pienimmät murskausvoimat saatiin käyttämällä Vampulan kalkkikiveä. Kuvaan 4.2 on koottu syötemateriaalin murskautuvuusarvon vaikutus työnninlaattavoimiin 50 mm:n asetuksella.



Kuva 4.2 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimat 50 mm:n asetuksella.

Maksimivoimat eri materiaalien välillä olivat noin 1800 – 2300 kN. Työnninlaattavoimien tehollisarvo oli noin 500 kN. Työnninlaattaan kohdistuvien tehollisvoimien vaihteluväli eri syötemateriaalien kesken oli noin 400 – 530 kN.

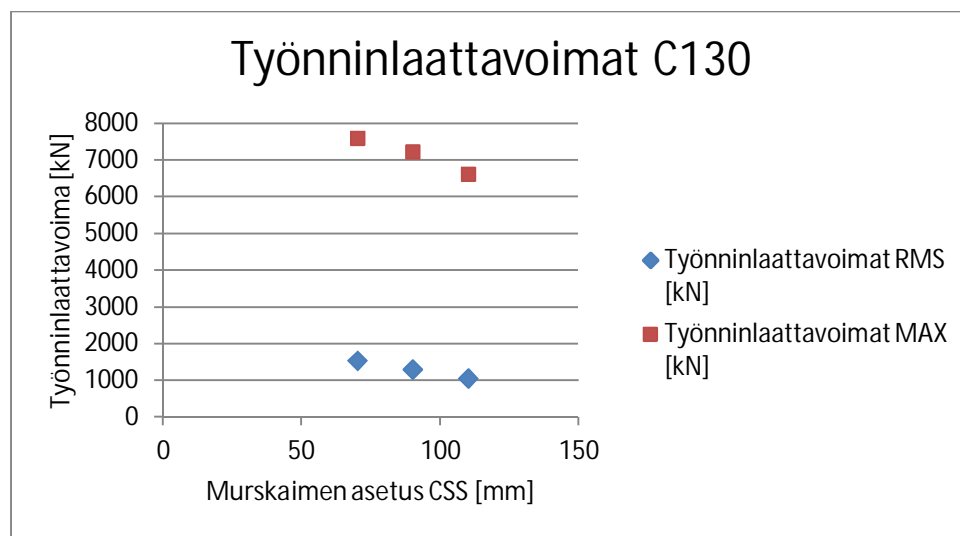
4.3 Metso C130 -murskaimen työnninlaattavoimat 70, 90 ja 110 mm asetuksilla

Metso C130 -murskaimen työnninlaattavoimia mitattiin kolmella eri asetuksella, jotka olivat 70 mm, 90 mm ja 110 mm. Syötemateriaalin murskautuvuusarvo oli kaikissa sama ja kivien kokoluokka oli 0 – 600 mm. Taulukkoon 4.3 on koottu tehollisvoimat sekä maksimityönninlaattavoimat eri murskaimen asetuksilla. Maksimityönninlaattavoima on suurin yksittäinen voimapiikki, joka mittauksen aikana saavutettiin. Tehollinen työnninlaattavoima on koko mittauksen ajalta otettu tehollisarvo.

Taulukko 4.3 Työnninlaattavoimat eri asetuksilla C130-murskaimella.

Murskaimen asetus [mm]	Työnninlaattavoimat RMS [kN]	Työnninlaattavoimat MAX [kN]
70	1535	7595
90	1295	7222
110	1053	6616

Suurimmat työnninlaattaan kohdistuvat voimat saavutettiin pienimmällä 70 mm:n asetuksella. Suurin yksittäinen voimapiikki oli 7595 kN. Pienimmät työnninlaattavoimat tulivat suurimmalla 110 mm:n asetuksella. Asetuksen suuruuden vaikutusta työnninlaattaan kohdistuviin voimiin on havainnollistettu kuvassa 4.3.

**Kuva 4.3** Metso C130 -murskaimen asetuksen vaikutus työnninlaattavoimiin.

Työnninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat pienenevät kun asetusta kasvatettiin. Tätä selittää osittain syötemateriaalin kokojakauma. Syötemateriaalissa oli paljon pieniä kiviä, jotka pääsivät helposti murskan läpi suuremmalla asetuksella.

4.4 Metso C80 ja C130 -murskainten työnninlaattavoimien tarkastelu

Tarkastellaan mitattuja työnninlaattavoimia ja vertaillaan niitä laskettuihin työnninlaatan nurjahdusvoimiin. Taulukkoon 4.4 on koottu työnninlaattavoimamittauksista saadut tulokset sekä työnninlaatalle taulukossa 2.2 lasketut nurjahdusvoimat. Taulukkoon on koottu suurimmat mittauksista saadut voimat, sillä ne ovat oleellisia työnninlaatan nurjahduksen sekä laakeripintojen kulumisen suhteen.

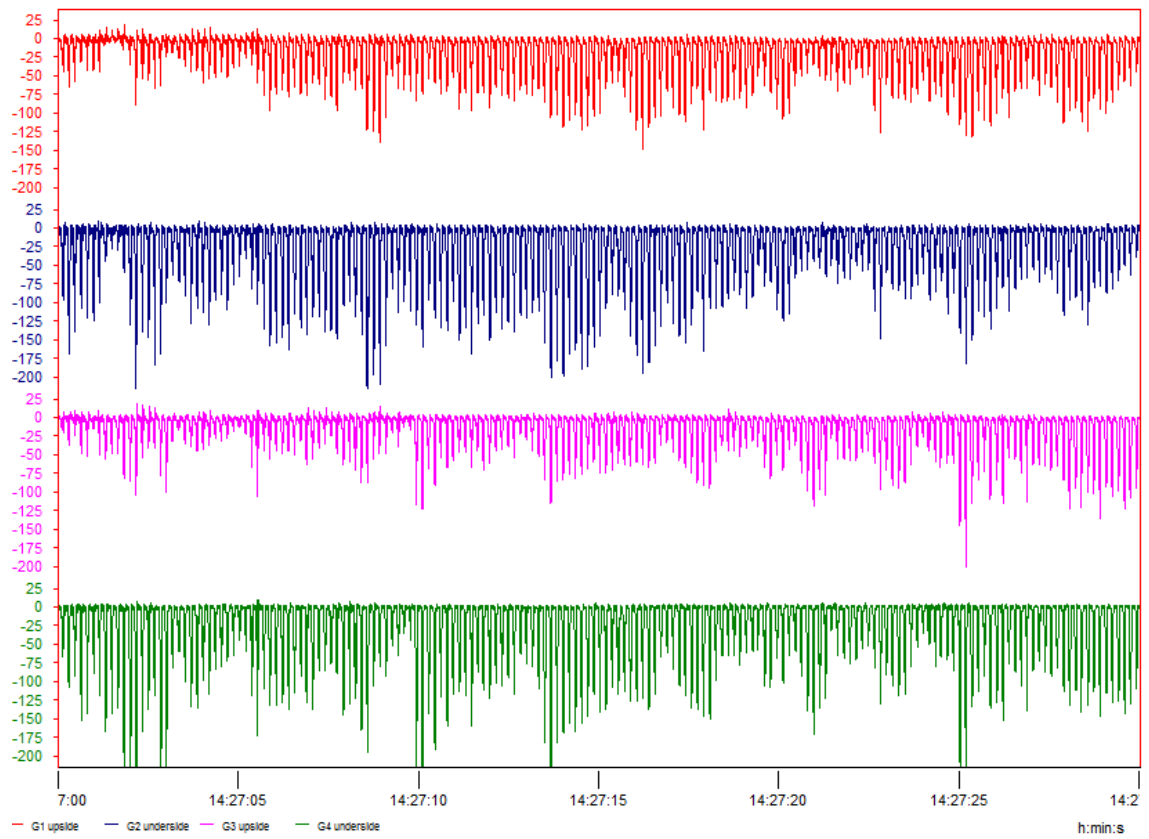
Taulukko 4.4 Mitatut työnninlaattavoimat ja lasketut nurjahdusvoimat.

Murskain	Suurin mitattu yksittäinen työnninlaattavoima [kN]	Työnninlaatan Nurjahdusvoima [kN]
C80 CSS 90 mm	2679	3890
C80 CSS 50 mm	2672	3890
C130 CSS 70 mm	7595	15 560

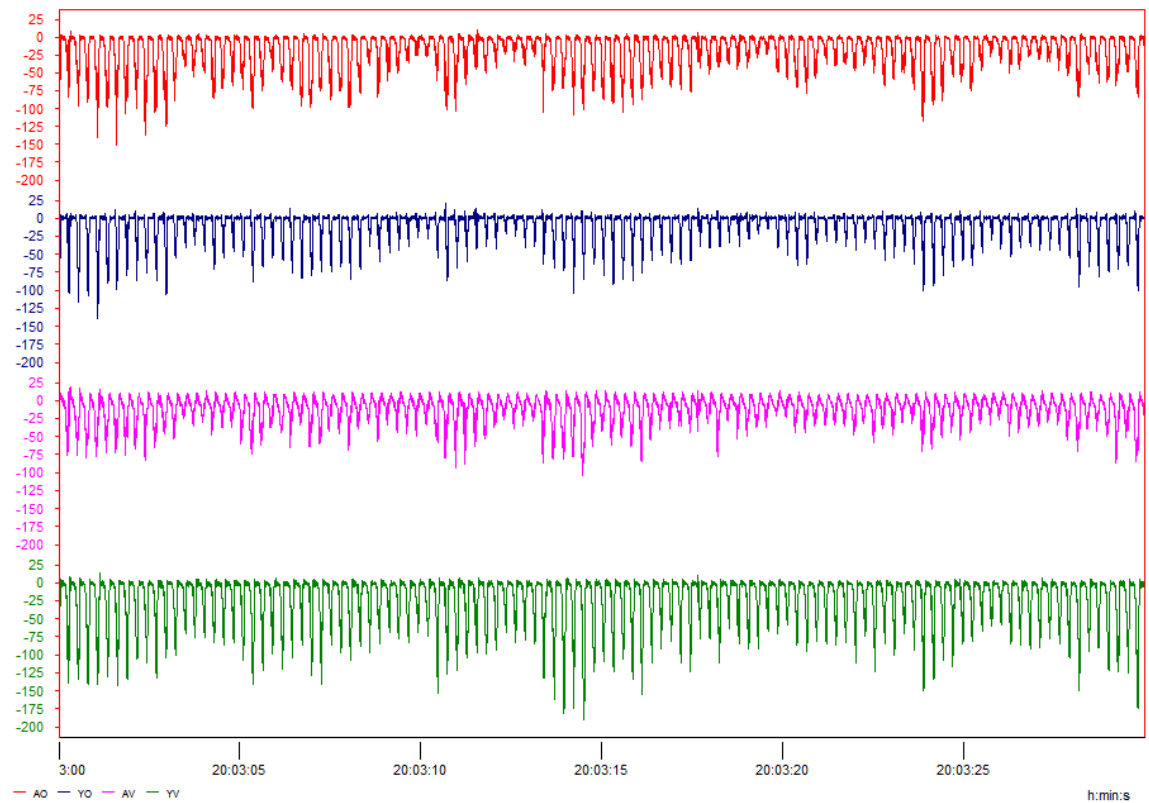
Taulukosta 4.4 nähdään, että mitatut työnninlaattavoimat jäivät alle laskettujen nurjahdusvoimien. Metso C80 -murskainta testattiin kovillakin syötemateriaaleilla kuten Patavuoren vulkaniitilla, jonka murskautuvuusarvo on 20 %. Tämä tarkoittaa vaikeaa tai erittäin vaikeaa murskattavaa. Lasketun nurjahtamisvoiman ja mitatun maksimivoiman välille jäi molemmilla asetuksilla yli 1200 kN voimavaraa C80-murskaimella.

Mitatulla C130-murskaimella nurjahdusvoimavaraa jäi huomattavasti enemmän, lähes 8000 kN pienimmälläkin asetuksella. Mitatun C130-murskaimen työnninlaattavoimamittauksissa käytetty syötemateriaali oli murskautuvuusarvoltaan 47 % eli helposti murskaantuvaa. Luultavasti tämän takia murskausvoimat eivät kasvaneet kovinkaan suuriksi C130-murskaimella. Molempien murskainmallien mittauksissa käytetyt syötemateriaalit olivat tavanomaisia leukamurskaimella murskattavia materiaaleja, joten niiden työnninlaattojen tuleekin kestää tämän suuruiset murskausvoimat.

Tarkastellaan vielä kuinka voimat jakaantuvat työnninlaattaan. Voimien epätasainen jakaantuminen voi kuluttaa ja vaurioittaa työnninlaattaa tai sen laakeripintoja. Otetaan tarkasteluun molempien murskaimien työnninlaattavoimamittauksista yksi testi ja tarkastellaan venymäliuska-antureilla mitattuja työnninlaatan jännitysarvoja puolen minuutin mittaiselta ajanjaksolta. Kuvassa 4.4 on Metso C80 -murskaimen työnninlaattajännitykset testistä T25 ja kuvassa 4.5 on Metso C130 -murskaimen työnninlaattajännitykset testistä T 2_8. Kuvat on tehty DASYLab-ohjelmalla.



Kuva 4.4 Metso C80 -murskaimen työnninlaattajännitykset testi T25.



Kuva 4.5 Metso C130 -murskaimen työnninlaattajännitykset testi T 2_8.

Kuvissa 4.4 ja 4.5 pystyakselilla on työnninlaattaan asennettujen venymäliuskaantureiden antamat jännitysarvot [MPa]. Vaaka-akselilla on mittauksien suoritus aika. Jännitysarvot ovat negatiivisia sillä työnninlaatan puristuma aiheuttaa venymäliuskalle negatiivisen venymän ja näin ollen myös negatiivisen jännitysarvon. Kuvista siis nähdään, että murskausvoimat aiheuttavat työnninlaatan puristumisen.

Kuvassa 4.4 punainen sekä violetti käyrä kuvaavat työnninlaatan yläpuolelle asennettuja venymäliuskoja ja sininen sekä vihreä ovat työnninlaatan alapuolelle asennettuja liuskoja. Kuvassa 4.5 punainen sekä violetti käyrä kuvaavat työnninlaatan alapuolelle asennettuja venymäliuskoja ja sininen sekä vihreä käyrä ovat työnninlaatan yläpuolelle asennettuja liuskoja. Molemmista kuvista nähdään, että työnninlaatta-jännityksien suuruus vaihtelee työnninlaatan eri kohdissa, murskausvoimat eivät siis jakaudu täysin tasaisesti.

Taulukkoon 4.5 on koottu kuvien 4.4 ja 4.5 tehollis- sekä maksimijännitysarvot. Jännitysarvot laskettiin DASYLab-ohjelmalla ja niiden etumerkki muutettiin positiiviseksi. Taulukkoon 4.5 on myös laskettu työnninlaatan oikean ja vasemman puolen tehollisjännityksien keskiarvot, joiden avulla pystytään tarkkailemaan kuormit-
tuiko työnninlaatta toispuoleisesti kyseisenä ajankohtana.

Taulukko 4.5 Työnninlaatan jännitykset eri kohdissa, testi T25 ja T 2_8.

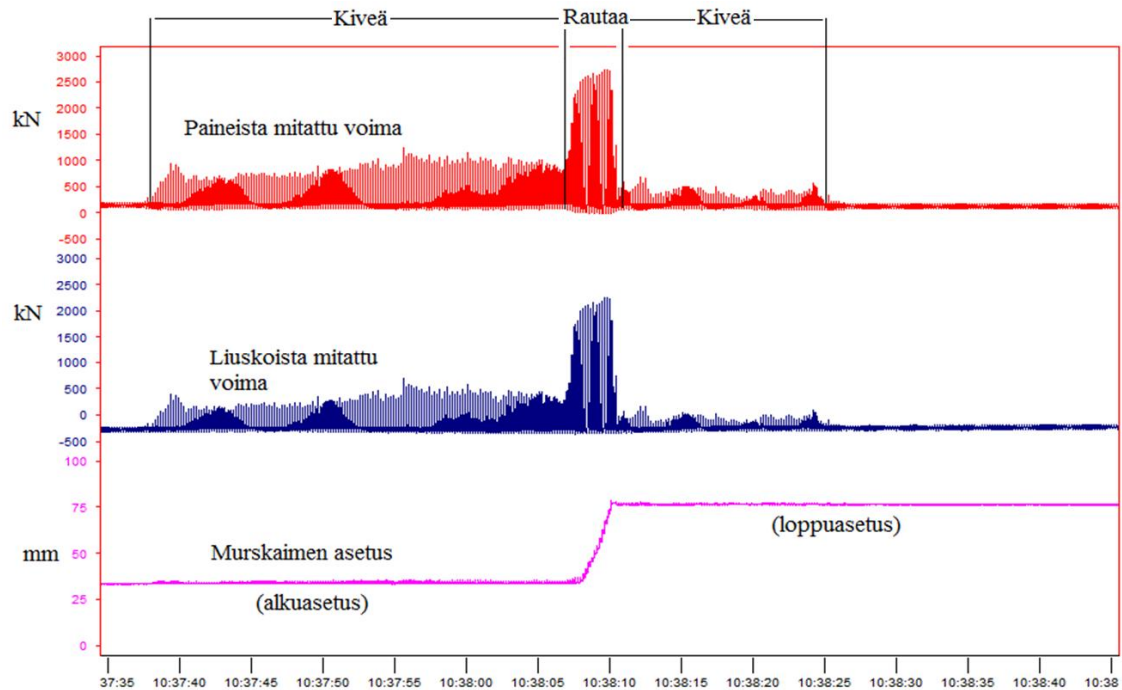
Työnninlaatan venymäliuska	Jännitys RMS [MPa]	Jännitys MAX [Mpa]	Jännitys oikea puoli RMS [Mpa]	Jännitys vasen puoli RMS [Mpa]
C80 Ylävasen T25	31	149	37	39
C80 Alavasen T25	46	232		
C80 Yläoikea T25	26	201		
C80 Alaoikea T25	47	308		
C130 Alaoikea T 2_8	30	151	26	31
C130 Yläoikea T 2_8	22	139		
C130 Alavasen T 2_8	22	105		
C130 Ylävasen T 2_8	40	191		

Tutkitulla C80-murskaimella oikean ja vasemman puolen tehollisilla työnninlaatta-jännityksillä ei ollut suuria eroja. Sen sijaan C130-murskaimen työnninlaatan oikean puolen tehollisjännitykset olivat 26 MPa ja vasemman puolen 31 MPa. Tämä siis tarkoittaa, että C130-murskaimen työnninlaatta oli jonkin verran toispuolittain kuormittunut kyseisellä mittausjaksolla. Toispuolittainen kuormittuminen voi johtua siitä, että kyseisenä ajanhetkenä murskaimen kita oli toispuoleisesti täyttynyt tai toisella puolella oli isompia ja kovempia kiviä.

4.5 Metso C95 -murskaimen työnninlaattavoimat

Metso C95 -murskaimen työnninlaattavoimat mitattiin hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereiden paineista sekä työnninlaattaan asennettujen venymäliuska-antureiden avulla. Mitatuista työnninlaattavoimista otettiin talteen niiden maksimiarvo ja tehollisarvo.

Työnninlaattavoimien tehollisarvo ja maksimiarvo otetaan tilanteesta, jossa murskaimeen on syötetty rautakappale. Tehollisarvo pyritään ottamaan aikajaksolta, jossa työnninlaattavoimat ovat mahdollisimman tasaisia. Maksimivoima otetaan suurimmasta työnninlaattaan kohdistuvasta voimapiikistä. Kuvassa 4.6 on esimerkki DASYLab-ohjelmalla saadusta kuvaajasta testistä Varolaite_T1.



Kuva 4.6 Kuvaaja työninlaattavoimille ja murskaimen asetukselle, Varolaitte_T1.

Kuvassa 4.6 punainen käyrä kuvaa paineista mitattua työninlaattavoimaa, sininen käyrä kuvaa venymäliuskoilla mitattua työninlaattavoimaa ja violetti käyrä kuvaa murskaimen asetusta. Kuvasta nähdään milloin kiveä syötettiin murskaimeen ja milloin rautakimpale on kidassa. Rautakimpaleen pudottua kitaan murskaimen asetus alkaa suurentua kunnes kimpale mahtuu kidasta ulos. Kuva on piirretty kuvan 2.8 mukaisen DASYLab-analyysipohjan piirtolohkolla R2.

Hydraulikäyttöisen varolaitteen avautumisvoimat voidaan laskea yhtälön (2) mukaan, kun hydraulisylintereiden painerajat ja männän halkaisijat tiedetään. Sylintereiden paineenrajoitusventtiilit oli säädetty 280 bariin kolmessa ensimmäisessä testissä ja 250 bariin kolmessa viimeisessä testissä. Sylintereiden männän halkaisijat olivat 200 mm. Teoreettiset varolaitteen avautumisvoimat on laskettuna alla.

$$F = 3(25 * 10^6 Pa \pi(0,100 m)^2 - 0) \approx 2356 kN$$

$$F = 3(28 * 10^6 Pa \pi(0,100 m)^2 - 0) \approx 2639 kN$$

Tarkastellaan ensin kuinka suuria murskausvoimia C95-murskaimen työninlaattaan kohdistuu. Suurimmat mitatut työninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat on koottu taulukkoon 4.6. Taulukossa näkyvät myös varolaitteen sylintereille säädetty avautumispainerajat.

Taulukko 4.6 Suurimmat työninlaattavoimat eri painerajoilla.

Testi	Paineista mitattu voima MAX [kN]	Venymäliuskoilla mitattu voima MAX [kN]	Säädetty paineraja [bar]
Varolaite_T1	2736	2256	280
Varolaite_T2	2863	2590	280
Varolaite_T3	2935	2678	280
Varolaite_T4	2666	2495	250
Varolaite_T5	2601	2386	250
Varolaite_T6	2598	2370	250

Suurimmat paineista mitatut työninlaattavoimat ylittävät edellä lasketut teoreettiset varolaitteen avautumisvoimat. Voimat ovat suurempia sillä paine nousee säädettyä raja-arvoa korkeammaksi. Tämä johtuu luultavasti murskaamisen aiheuttamista paineiskuista sekä paineenrajoitusventtiilien virtaushäviöistä. Venymäliuskoilla mitatut työninlaattavoimat olivat pienempiä kuin paineista mitatut. Metso C95 -murskaimen työninlaatan nurjahdusvoima on noin 4,37 MN ja suurin paineista mitattu voima oli 2,935 MN. Lasketaan varmuuskerroin n työninlaatan nurjahduksen suhteen kaavalla (16).

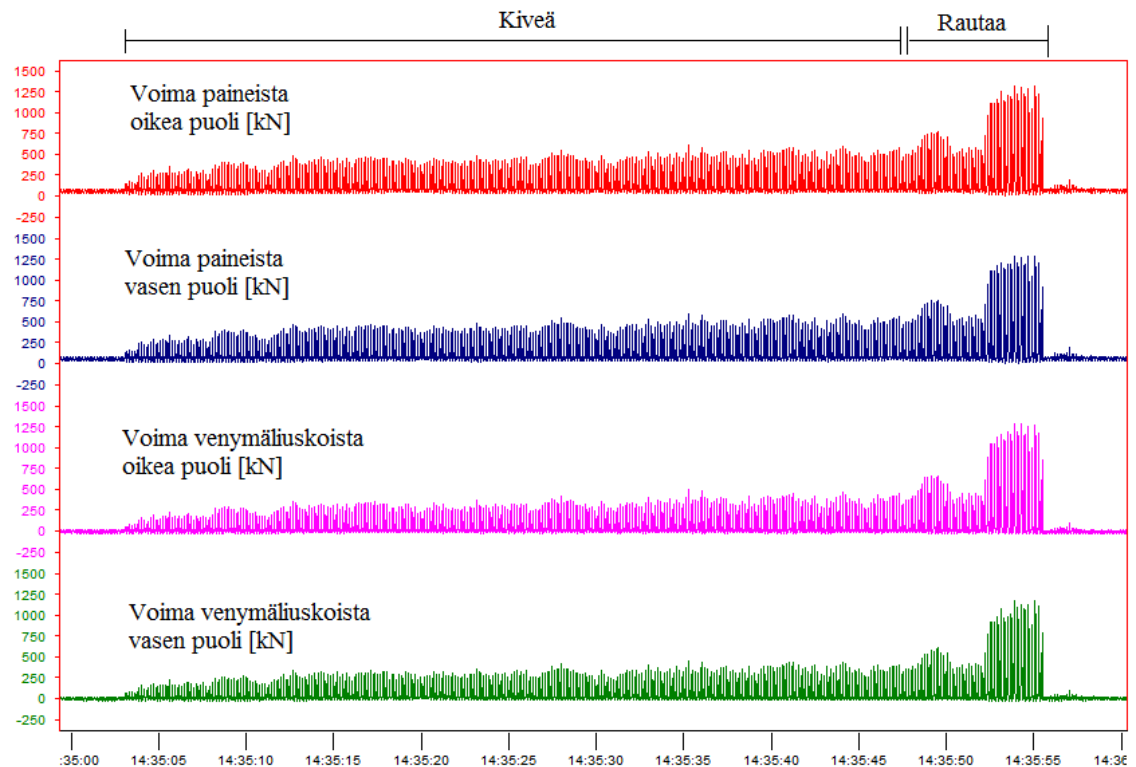
$$n = \frac{F_{\text{työnnin.nurjahdus}}}{F_{\text{työnnin.mitattu}}} = \frac{4,370 \text{ MN}}{2,935 \text{ MN}} \approx 1,49 \quad (16)$$

Metso 95 -murskaimen työninlaatan varmuuskerroin nurjahduksen suhteen on 1,49. Tämä varmuuskerroin saatiin suurimman mitatun voiman ja työninlaatan nurjahdusvoiman välille.

4.5.1 Toispuoleisien työninlaattavojen tunnistus

Tarkastellaan seuraavaksi mittausmenetelmien kykyä tunnistaa työninlaattaan kohdistuvia toispuoleisia voimia. Suorien työninlaattavojen lisäksi DASYLab-ohjelmalla luettiin kunkin paineanturin ja venymäliuska-anturin näyttämät. Niiden avulla pystytään tarkkailemaan kuinka rautakimpaleen sijoitus kidassa vaikuttaa toispuoleisiin voimiin. Rautakimpaleen sijainti kidassa täytyy olla tiedossa, jotta voidaan arvioida kyseisten mittausmenetelmien soveltuvuutta toispuoleisten työninlaattavojen tunnistamiseen. Tämän takia tarkastelua suoritetaan vain kolmen viimeisen testin osalta.

Kuvaan 4.7 on piirretty kuvan 2.8 mukaisen DASYLab-analyysipohjan piirtolohkosta R3 saatu kuvaaja, josta voidaan tarkastella työninlaatan toispuoleisia voimia.



Kuva 4.7 Työnninlaatan toispuoleiset voimat testistä Varolaite_T5.

Kuva 4.7 on piirretty testistä Varolaite_T5. Kuvassa näkyy sylinteripaineiden sekä venymäliuskojen avulla mitatut työnninlaatan toispuoleiset voimat. Kaksi ylintä käyrää on sylinteripaineista mitattuja voimia ja kaksi alinta käyrää on venymäliuskoilla mitattuja voimia. Lisäksi kuvaan merkattiin ajanhetket milloin murskaimen kidassa oli rautaa ja milloin sinne pudotettiin rautakimpale. Kyseisessä testissä rautakimpale pudotettiin keskelle kitaa.

Taulukkoon 4.7 on koottu kolmen viimeisen testin osalta toispuoleisten voimien tehollisarvot. Tarkastelu suoritettiin vain siltä ajalta kun kidassa oli rautaa ja raudan sijainti kidassa voitiin olettaa olevan tiedossa. Tarkasteluaikana käytetään kolmen sekunnin mittaista aikajaksoa alkaen siitä, kun kitaan pudotettiin rautaa. Aikajakso pidetään lyhyenä sillä rautakappaleet saattoivat pomppia kidassa ja näin ollen siirtyä väärään kohtaan.

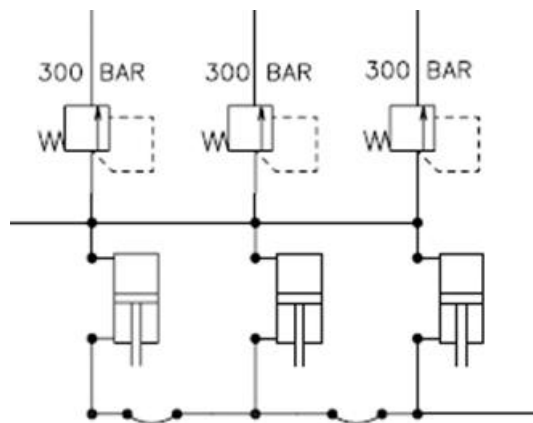
Taulukko 4.7 Toispuoleiset voimat.

Paineista mitatut			
Testi	Oikea RMS [kN]	Vasen RMS [kN]	Ero [%]
Varolaite_T4	442	437	1,1
Varolaite_T5	552	547	0,9
Varolaite_T6	369	364	-1,4
Venymäliuskoilla mitatut			
Testi	Oikea RMS [kN]	Vasen RMS [kN]	Ero [%]
Varolaite_T4	458	306	33
Varolaite_T5	518	445	14
Varolaite_T6	257	307	16

Voimien ero on laskettu siihen voimaan nähden kummassa laidassa ei pitäisi olla rautaa. Ero siis kertoo kuinka monta prosenttia suurempi voima kohdistuu laitaan jossa on rautaa. Testissä Varolaite T_5 rautakimpale pyrittiin pudottamaan kidan keskelle, joten siinä voimien ero lasketaan pienempään voimaan nähden.

Taulukon 4.7 tuloksista nähdään, että kyseisen hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereihin liitetyillä paineantureilla ei pystytä tunnistamaan toispuoleisia työnninlaattavoimia. Voimien erot ovat liian pieniä antaaakseen luotettavaa tietoa ja lisäksi testissä Varolaite_T6 ero osoittautui väärälle puolelle.

Hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereiden kytkentä on toteutettu tavalla joka ei mahdollista toispuoleisten voimien tunnistamista sylinteripaineista mittaamalla. Hydraulisyylintereihin kytketyt paineenrajoitusventtiilit on kytketty rinnakkain. Alla olevaan kuvaan 4.8 on leikattu liitteen 1 hydraulikaaviosta varolaitteen sylintereiden ja paineenrajoitusventtiilien hydraulikytkennät.

**Kuva 4.8** Hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereiden kytkennät.

Kytkenästä johtuen kaikki hydraulisyylinterit on kytketty samaan painelinjaan, jolloin toispuoleisten voimien tunnistaminen ei onnistu.

Sen sijaan työnninlaattaan liimatuilla venymäliuskoilla pystytään tunnistamaan toispuoleisia voimia. Testeissä Varolaite_T4 ja Varolaite_T6 voimien ero oli selkeä ja

ero osoittautui sille puolelle, johon se kuuluikin osoittautua. Testissä Varolaite_T4 rautakappale pudotettiin kidan oikeaan laitaan ja sieltä mitattu tehollisvoima osoittautui 33 % suuremmaksi kuin vasemmassa laidassa. Testissä Varolaite_T6 rautakappale pudotettiin kidan vasempaan laitaan ja sieltä mitattu tehollisvoima oli 16 % suurempi kuin oikeassa laidassa. Testissä Varolaite_T5 rautakappale pyrittiin pudottamaan keskelle kitaa, mutta toispuoleisissa voimissa oli silti 14 % eroavaisuus. Tämä voi esimerkiksi selittyä sillä, että rautakappale ei pudonnut kidan keskelle tai se kimposi keskeltä pois.

5 TYÖNNINLAATAN ANTUROUTIVAIHTOEHDOT

Tässä luvussa tarkastellaan mahdollisia työnninlaatan anturointivaihtoehtoja. Työnninlaatan anturoinnilla halutaan mitata työnninlaattaan kohdistuvia murskausvoimia sekä tunnistaa mahdollisia toispuoleisia voimia. Kuten luvussa 4 jo huomattiin, työnninlaattaan tulevat murskausvoimat ovat hyvin suuria ja ne eivät jakaudu täysin tasaisesti työnninlaattaan. Jatkuvat toispuoleiset voimat voivat vaurioittaa työnninlaattaa ja sen laakerointia.

Työnninlaatan anturoinnin tulisi olla yksinkertainen, kestävä ja helppo toteuttaa. Anturin tulee toimia haastavissakin olosuhteissa, sillä työnninlaatta on alttiina pölylle, iskuille, kosteudelle ja lämpötilan vaihteluille. Anturin pitää myös kestää huomattavan suuri määrä mittaussyklejä ja mittausluotettavuuden pitää pysyä hyvänä.

Työnninlaattaan tulevat voimat ovat erittäin suuria, joten tavallisen voima-anturin sijoittaminen työnninlaatan taakse olisi haastavaa. Suurien voimien mittaamiseen tarkoitetut voima-anturit ovat kooltaansa suuria joten murskaimen rakennetta tarvitsisi muuttaa, jotta anturit voitaisiin sijoittaa siihen. Pyritään siis löytämään sellainen anturointivaihtoehto, jolla murskaimen tai työnninlaatan rakennetta ei tarvitse muuttaa. Luvussa 4 kerrottiin, kuinka työnninlaattavoimat mitattiin käyttäen venymäliuska-antureita ja paineantureita. Käytetään näitä mittaustuloksia hyödyksi muiden anturointivaihtoehtojen tarkasteluun.

5.1 Työnninlaatan puristuman selvitys

Työnninlaattaan kohdisuvien murskausvoimien anturoimiseen voitaisiin mahdollisesti käyttää tarkkoja siirtymäantureita tai venymä-antureita. Murskausvoimat aiheuttavat työnninlaatatassa puristuman, joka voitaisiin mitata ja muuttaa työnninlaattavoimaksi. Puristuma saadaan muutettua voimaksi, kun työnninlaatan poikkileikkauspinta-ala sekä materiaalin kimmokerroin tiedetään. Tarkastellaan seuraavaksi kuinka suuria puristumia työnninlaattaan aiheutuu murskauksen aikana.

Murskauksen aiheuttamien työnninlaattapuristumien selvittämiseksi käytetään hyväksi C130-murskaimen ja C80-murskaimen mittauksista saatua aineistoa. Työnninlaattajännitykset on otettu kolmesta viimeisestä mittauksesta, eli testeistä 2_6, 2_7 ja 2_8. Tutkitun C130 -murskaimen työnninlaattajännitykset jännitykset voidaan lukea suoraan DASYLab-ohjelmalla tai ne voidaan myös selvittää mitatuista työnninlaattavoimista. Mitatut työnninlaattavoimat ovat taulukossa 4.3. Kaava (8) muutetaan seuraavaan muotoon kaavaksi (17),

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (17)$$

jolloin työninlaattaan kohdistunut jännitys σ saadaan selville, kun siihen kohdistunut voima F tiedetään. Taulukkoon 5.1 on koottu C130-murskaimen työninlaattajännitykset.

Taulukko 5.1 Metso C130 -murskaimen työninlaattajännitykset.

Murskaimen asetus [mm]	Työninlaattajännitys RMS [MPa]	Työninlaattajännitys MAX [MPa]
70	42	209
90	36	199
110	29	182

Työninlaattajännitys RMS kertoo työninlaattajännityksen tehollisarvon koko mittausjakson ajalta ja MAX kertoo suurimmat saavutetut työninlaattajännitykset. Lasketaan työninlaattajännitysten avulla työninlaatan puristuma. Yhdistetään kaavat (6) ja (7), jolloin pituuden muutos voidaan laskea seuraavalla kaavalla (18).

$$\Delta l = \frac{\sigma l}{E} \quad (18)$$

Metso C130 -murskaimen työninlaatan puristuksen suuntainen alkuperäinen pituus l on 700 mm (taulukko 2.1) ja teräksen kimmokerroin E on 206 GPa. Työninlaatan puristumat on koottu taulukkoon 5.2.

Taulukko 5.2 Metso C130 -murskaimen työninlaatan puristumat.

Murskaimen asetus [mm]	Työninlaatan puristuma RMS [μm]	Työninlaatan puristuma MAX [μm]
70	143	710
90	122	676
110	98,5	618

Mitatun C130 -murskaimen työninlaatta puristuu suurimmillaan 710 mikrometriä eli hieman yli 0,7 mm. Tämän verran työninlaatta siis puristuu suurimmassa mitatussa voimapiikissä. Tehollisarvon suuruksissa voimissa työninlaatta puristuu noin 100 – 140 mikrometriä.

Tarkastellaan kuinka paljon C80-murskaimen työninlaatta puristuu murskauksen aikana. Käytetään hyväksi luvun 4 taulukoita 4.1 ja 4.2 joissa näkyy C80-murskaimen työninlaattavoimat 50 mm:n ja 90 mm:n asetuksilla. Lasketaan molemmista asetuksista keskiarvo tehollis- ja maksimivoimille. Mitatun C80-

murskaimen työnninlaattaan kohdistuvat keskiarvovoimat ovat esitettynä taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3 Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimien keskiarvot.

Murskaimen asetus [mm]	Työnninlaattavoima RMS keskiarvo [kN]	Työnninlaattavoima MAX keskiarvo [kN]
50	477	2089
90	445	2209

Yhdistämällä kaavat (7) ja (9) ja ratkaisemalla sieltä pituuden muutos Δl saadaan seuraava kaava (19). Tämän avulla voidaan laskea C80-murskaimen työnninlaatan puristuma.

$$\Delta l = \frac{Fl}{A_{C80}E} \quad (19)$$

Työnninlaatan alkuperäinen pituus l on 450 mm ja kimmokerroin E on 206 Gpa. Muuttuja A_{C80} on C80-murskaimen työnninlaatan poikkileikkauspinta-ala. Mitatun C80-murskaimen työnninlaatan puristumat on koottu taulukkoon 5.4.

Taulukko 5.4 Metso C80 -murskaimen työnninlaatan puristumat.

Murskaimen asetus [mm]	Työnninlaatan puristuma RMS [μm]	Työnninlaatan puristuma MAX [μm]
50	91	396
90	84	419

Tutkitun C80-murskaimen työnninlaatan suurimmat puristumat murskauksen aikana olivat 419 mikrometriä. Tehollisarvon suuruksissa voimissa työnninlaatta puristuu 84 – 91 mikrometriä.

5.2 Siirtymäanturit

Työnninlaatan puristuma voitaisiin mitata siirtymäantureilla ja laskea sitä kautta työnninlaattaan kohdistuva voima. Tarkastellaan joitakin siirtymäanturivaihtoehtoja, joilla voidaan mitata erittäin pieniä siirtymiä.

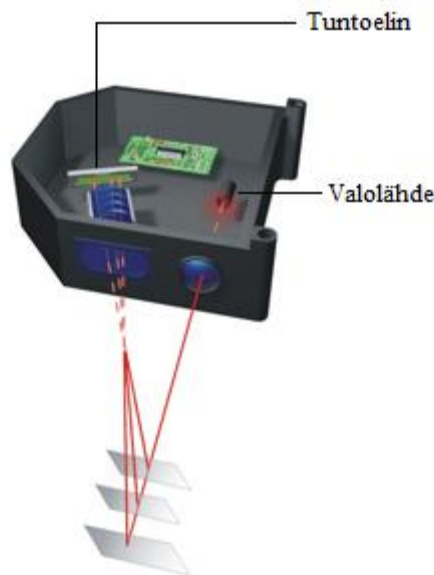
LVDT tulee englanninkielien sanoista ”Linear variable differential transformer”, joka suomeksi tarkoittaa differentiaalimuuntajaa. LVDT-anturin toiminta perustuu magneettiseen sydämeen, jota liikutetaan mittakäämien välissä. LVDT-anturin avulla voitaisiin mitata työnninlaatan puristuma ja tätä kautta laskea siihen kohdistuva voima. LVDT-anturit ovat erittäin tarkkoja ja niillä pystytään mittaamaan mikrometrin osien suuruksia pituuden muutoksia. LVDT-anturit ovat rakenteeltaan hyvin robusteja ja ne

voivat kestää miljoonia käyttötunteja. Ne kestävät hyvin myös likaa, tärinää, nesteitä ja kemikaaleja. [20] Kuvassa 5.1 on MICRO-EPSILON:n LVDT-antureita.



Kuva 5.1 MICRO-EPSILON LVDT-siirtymäantureita. [21]

Työnninlaatan puristuma voitaisiin mitata myös käyttäen Laserantureita. Kolmiomittausmenetelmällä toimivien laserantureiden mittaus perustuu anturin lähettämään valosäteeseen joka heijastuu mitattavasta kohteesta takaisin anturiin. Anturissa on valolle herkkä tuntoelin, joka tunnistaa anturin lähettämän valosäteen. Kun mitattava kohde etääntyy tai lähestyy, anturiin heijastunut valonsäde osuu eri kohtaan tuntoelimessä ja kohteen etäisyys saadaan selville. Laserantureiden mittauksen tarkkuus on jopa mikrometrin sadasosa. Kuvassa 5.2 on MICRO-EPSILON:n valmistaman optoNCDT-sarjan laseranturin mittausperiaate. [22]



Kuva 5.2 Kolmiomenetelmään perustuva laseranturimittaus. [22]

MICRO-EPSILON tarjoaa myös optisia siirtymäantureita, joiden toiminta perustuu mitattavasta pisteestä heijastuneen valon aallonpituuden muutokseen. Anturin tuntoelin tunnistaa heijastuneen valon aallonpituuden ja laskee sen avulla mitattavan kohteen

etäisyyden. Valon aallonpituuteen perustuvat siirtymäanturit ovat erittäin tarkkoja ja niillä voidaan mitata jopa mikrometrin osien suuruisia siirtymiä. [23]

5.3 Venymäanturit

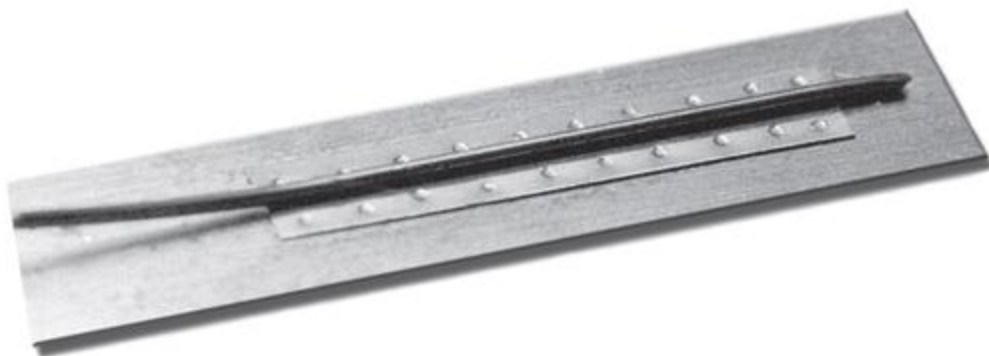
Työnninlaatan puristuma voitaisiin mitata käyttäen siihen soveltuvia venymäantureita. Esimerkiksi HBM tarjoaa venymäliuskaelementteihin perustuvia venymäantureita joilla kappaleen venymä voidaan mitata. HBM tarjoaa myös piezosähköisiä venymäantureita. Venymäanturi voidaan kiinnittää kohteeseensa liimalla ja ruuveilla joten sen asennus työnninlaattaan olisi helppoa. Kuvassa 5.3 on kohteeseen ruuvattavia venymäantureita.



Kuva 5.3 HBM piezosähköinen- ja venymäliuskapohjainen venymäanturi. [24]

Kuvassa 5.3 oikealla puolella on HBM:n venymäliuskaelementtiin perustuva venymäanturi ja vasemmalla puolella piezosähköiseen ilmiöön perustuva venymäanturi.

On olemassa myös kohteeseensa hitsattavia venymäantureita. Tämän venymäanturimallin toiminta perustuu sen sisällä oleviin venymäliuskoihin. Alla olevassa kuvassa 5.4 näkyy pistehitseillä kiinnitettävä venymäanturi, joka on kiinnitetty metallilevyn päälle.



Kuva 5.4 Pistehitseillä kiinnitettävä venymäanturi [25].

Kuvan 5.4 anturin tuntoelin on kiinni pienessä metallilevyssä, joka kiinnitetään kohteeseen pistehitseillä. Itse tuntoelimenä toimii tyypillisesti putken mallinen venymäliuska, joka on metalliputken sisällä. Pistehitsattava, kuten myös

ruuvikiinnitteinen venymäanturi kiinnitetään kohteeseensa mitattavan venymän suuntaisesti. [26, s. 69]

5.4 Anturivertailu

Anturivaihtoehtoja vertailtaessa otetaan huomioon sen asennettavuus työnjinlaattaan, soveltuvuus työnjinlaattavaimien mittaamiseen ja kestävyys. Soveltuvuus tarkoittaa sitä kuinka hyvin anturi soveltuu kyseisen suureen mittaamiseen ja kuinka luotettavia mittaustulokset ovat. Asennettavuus käsittää sen kuinka helposti ja nopeasti anturin asentaminen käy, täytyykö murskaimeen tehdä rakenteellisia muutoksia ja tarvitaanko anturin asentamiseen alan ammattilainen. Kestävyys käsittää yksinkertaisesti sen kuinka kestävä anturin rakenne on. Taulukkoon 5.5 on tehty anturivertailu näiden ominaisuuksien persuteella siirtymäanturien, venymäliuskojen ja venymäanturien välille. Vertailussa käytetään kolmea suositusta: Hyvä, kohtalainen ja huono.

Taulukko 5.5 Anturivertailua.

Anturityyppi	Soveltuvuus	Asennettavuus	Kestävyys
Siirtymäanturi	Huono	Huono	Kohtalainen
Venymäliuska	Hyvä	Kohtalainen	Huono
Venymäanturi	Hyvä	Hyvä	Hyvä

Siirtymäanturit vaativat kiinteän asennuspisteen sekä anturille vastinpinnan, jonka suhteen etäisyyttä mitataan, joten niiden asennettavuus työnjinlaattavaimien mittaamiseen on huono. Lisäksi ne vaativat jonkin verran rakenteellisia muutoksia murskaimeen ja työnjinlaattaan, muun muassa anturin asennuspaikan, vastinpinnan ja mahdollisen suojakoteloinnin rakentamisen. Murskauksesta aiheutuva värinä, lika, kosteus ja pölyhaitat voivat tehdä mittaustuloksesta epäluotettavan. Tämän takia niiden soveltuvuus on myös huono.

Venymäliuskojen soveltuvuus työnjinlaattavaimien mittaamiseen on todella hyvä. Ne mittaavat suoraan työnjinlaatan pinnasta sen fyysisiä muutoksia, joten mittaustuloksetkin ovat luotettavia. Venymäliuskan asennus ei vaadi minkäänlaisia rakenteellisia muutoksia työnjinlaatatassa eikä murskaimessa. Sen sijaan venymäliuskojen asennus vaatii erittäin tarkkaa työtä ja mielellään ammattilaisen suorittamaan asennuspintojen puhdistuksen ja liuskojen liimaamisen. Tämän takia asennettavuudeksi tulee kohtalainen. Venymäliuskat ovat itsessään hyvin herkkiä antureita, joten niiden kestävyys on huono. Venymäliuskoja käytettäessä ne tulisi suojata hyvin kosteudelta ja iskuilta.

Venymäanturin soveltuvuus työnjinlaattavaimien mittaamiseen on todella hyvä. Ne mittaavat suoraan työnjinlaatan pinnasta sen fyysisiä muutoksia, joten mittaustuloksiakin voidaan pitää luotettavina. Venymäanturin asennus tapahtuu yleensä ruuvien ja liiman avulla, joten niiden asentamista varten pitäisi tehdä asennuskohdat työnjinlaattaan. Asennuskohkien teko ei kuitenkaan vaadi paljoa työtä. Työnjinlaatan

koneistuksen yhteydessä riittäisi, että työnninlaattaan porattaisiin kierrereiät tai hitsattaisiin kierretapit venymäantureiden kiinnitystä varten. Tällöin venymäanturien liimaaminen ja kiinnittäminen kävisi helposti ja nopeasti. Jos käytetään pistehitsattavaa venymäanturia, niin työnninlaatta ei tarvitse juuri lainkaan asennuskohdan valmistelua. Venymäanturit ovat myös rakenteeltaan kestäviä. Kuitenkin, jos työnninlaatan yläpuolelle asennetaan venymäantureita, olisi ne hyvä suojata mahdollisilta kiveniskemiltä. Venymäanturit saavat siis kaikista vertailussa käytetyistä perusteista suosituksen hyvä.

5.5 Anturin valinta ja asennus

Edellä mainituista anturityypeistä työnninlaattavoimien mittaamiseen soveltuvat parhaiten venymäanturit ja tavalliset venymäliuskat. Tavallisen venymäliuskan suurin heikkous on sen haasteellinen asentaminen ja kestävyys. Venymäliuskan asentaminen vaatii aina hyvin tarkkaa työtä ja ammattilaisen suorittamaan asennuksen. Jos työnninlaatan anturoinnin halutaan olevan saatavilla lisävarusteena jokaiseen leuka-murskaimeen niin anturin asentamisen pitäisi käydä helposti ja luotettavasti. Tämän vuoksi ruuvikiinnitteinen tai pistehitsattava venymäanturi soveltuisi parhaiten varsinaisella tuotantolinjalla toteutettavaan työnninlaatan anturointiin.

Käydyn keskustelun perusteella myös Straintech Finland Oy:n toimitusjohtaja suositteli käyttämään työnninlaatan anturoinnissa ruuvikiinnitteisiä tai pistehitsattavia venymäantureita. Lisäksi ruuveilla ja pistehitseillä kiinnitettävät venymäanturit ovat kestävämpiä ja tarjoavat samalla suojakoteloinnin kosteudelta ja iskuilta. Liitteissä 9 ja 10 on teknisiä tietoja KYOWA:n valmistamista ruuvikiinnitteisistä ja pistehitseillä kiinnitettävistä venymäantureista. Straintech Finland Oy on antureiden ja muiden mittausrakenteiden toimittaja, jonka osaamisalueena on mm. rakenteiden jännitysmittaukset. Straintech edustaa muun muassa KYOWA:n tuotteita. [27]

Toispuoleisien voimien tunnistaminen onnistuisi kahdella venymäanturilla. Anturit asennettaisiin työnninlaatan laitoihin esimerkiksi 100 mm:n päähän sen reunoista. Molemmat anturit kiinnitettäisiin työnninlaatan alapuolelle missä ne olisivat paremmassa suojassa iskuilta ja kosteudelta. Lopullinen asennuskohta olisi kuitenkin vielä hyvä varmistaa lisämittauksilla. Tämä kannattaisi suorittaa mittaamalla työnninlaatan jännityksiä eri kohdista edullisilla venymäliuskoilla.

6 HYDRAULIKÄYTTÖISEN VAROLAITTEEN MITOITUS C80 JA C130 -MURSKAIMEEN

Tässä luvussa mitoitetaan hydraulikäyttöisen varolaitteen pääkomponentit C80 ja C130 -murskaimeen. Rajoitetaan komponenttien mitoitus varolaitteen sylintereihin ja niihin kytkettyihin paineenrajoitusventtiileihin. Näiden komponenttien mitoittamiseen tarvittavat tiedot saadaan edellä tehdyistä mittauksista ja niiden tuloksista.

6.1 Sylintereiden mitoitus

Työnninlaatan taakse sijoitettavat varolaitteen hydraulisylinterit voidaan mitoittaa, kun murskauksesta aiheutuvat työnninlaataan kohdistuvat voimat sekä työnninlaatan nurjahdusvoima tiedetään. Sylintereiden tulee avautua ennen työnninlaatan nurjahdusvoimaa. Mitoitusta varten pitää päättää sopiva voiman arvo, jolla sylinterit aukeavat. Myös paineraja pitää määrittää.

Sylintereiden avautumisvoiman laskemiseen käytetään luvusta 4.5 saatua varmuuskerrointa $n = 1,49$. Lasketaan sylintereiden avautumisvoima F_{avaus} tällä varmuuskertoimella C80 ja C130 -murskainten työnninlaatan nurjahdusvoimien suhteen kaavalla (20),

$$F_{avaus} = \frac{F_{nurjahdus}}{n} \quad (20)$$

missä $F_{nurjahdus}$ on työnninlaatan nurjahdusvoima. Laskettujen C80 ja C130 -murskaimien työnninlaattojen nurjahdusvoimat löytyvät taulukosta 2.2. Taulukkoon 6.1 on koottu varolaitteen sylintereiden mitoitusta varten tarvittavat lähtöarvot ja laskettu sopivat sylintereiden avautumisvoimat.

Taulukko 6.1 Lähtöarvot hydraulisylintereiden mitoitukseen.

Murskain	Sylintereiden avautumisvoima [kN]	Työnninlaatan Nurjahdusvoima [kN]	Paineraja [bar]
C80	2600 (2679)	3890	300
C130	10400 (7595)	15560	300

Taulukossa 6.1 on laskettu sylintereiden avautumisvoimat, suurimmat mitatut voimat (suluissa), työnninlaatan nurjahdusvoima ja mitoituslähtökohdan paineraja.

Sylintereiden avautumisvoimat ovat pyöristetty alaspäin lähimpään satalukuun. Nämä arvot kattavat suurimmatkin tavanomaisen syötemateriaalin murskaamisesta aiheutuvat voimat, vaikkakin suurimmat yksittäiset voimapiikit olivatkin hieman suurempia mitatun C80-murskaimen tapauksessa. Sylintereiden paineraja on syytä asettaa korkealle sillä voimat ovat hyvin suuria eikä sylintereistä haluta kohtuuttoman suuria. Painerajan mitoitukslähtökohta on 300 bar.

6.1.1 Varolaitteen hydraulisylinterit Metso C80 -murskaimeen

Lasketaan yhden sylinterin männän pinta-ala. Sylintereitä on kolme rinnakkain työnninlaatan takana ja painerajana 300 bar. Muokataan yhtälöä (2), josta yhden sylinterin männän pinta-ala $A_{m\grave{a}nt\grave{a} \text{ C80}}$ voidaan laskea kaavalla (21),

$$A_{m\grave{a}nt\grave{a} \text{ C80}} = \frac{F_{avaus \text{ C80}}}{3p} = \frac{2600 * 10^3 N}{3 * 300 * 10^5 Pa} \approx 0,029 m^2 \quad (21)$$

missä $F_{avaus \text{ C80}}$ on varolaitteen haluttu avautumisvoima ja p valittu paineraja. Pinta-alan avulla lasketaan yhden sylinterin männän halkaisija $D_{m\grave{a}nt\grave{a} \text{ C80}}$ yhtälöllä (22).

$$D_{m\grave{a}nt\grave{a} \text{ C80}} = 2 \sqrt{\frac{A_{m\grave{a}nt\grave{a} \text{ C80}}}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0,029 m^2}{\pi}} \approx 0,192 m = 192 mm \quad (22)$$

Valitaan sylintereiden männän halkaisijaksi 200 mm. Lasketaan tarvittava paineraja kun halutaan, että kolmen sylinterin yhteisvoima $F_{avaus \text{ C80}}$ on 2600 kN. Tarvittava paineraja $p_{varolaite \text{ C80}}$ ratkaistaan kaavalla (23),

$$p_{varolaite \text{ C80}} = \frac{F_{avaus \text{ C80}}}{3A_{cyl \text{ C80}}} = \frac{2600 * 10^3 N}{3\pi(0,100 m)^2} \approx 276 * 10^5 Pa \quad (23)$$

missä $A_{cyl \text{ C80}}$ on valitun sylinterin männän pinta-ala. Selvitetään onko vaaraa, että sylinterit nurjahtavat. Tarkastetaan ensin, että jännitys sylinterin männänvarressa pysyy elastisella alueella. Bosch Rexrothin sylintereiden datalehdessä, joka on liitteenä 11, nähdään, että esimerkiksi 200 mm:n sylinterin männänvarren halkaisija on 140 mm. Käytetään tätä arvoa sylinterin männänvarren halkaisijalle. Männänvarren teräksen myötörajana käytetään 520 MPa. Sylinterin männänvarren jännitys ratkaistaan kaavalla (17),

$$\sigma = \frac{F_{avaus \text{ C80}}}{A_{varsi \text{ C80}}} = \frac{2600 * 10^3 N}{\pi(0,07 m)^2} \approx 169 * 10^6 Pa$$

missä $A_{\text{varsi } C80}$ on valitun sylinterin männänvarren poikkipinta-ala. Huomataan, että männänvarren jännitys on alle teräksen myötörajan. Lasketaan sylinterin jäyhyysmomentti $I_{\text{cyl } C80}$ kaavalla (4).

$$I_{\text{cyl } C80} = \frac{(0,140 \text{ m})^4 \pi}{64} \approx 1,89 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Sylinterin nurjahdusvoima voidaan nyt laskea Eulerin ensimmäisen nurjahdustapauksen mukaan. Valitaan sylinterin iskunpituudeksi 150 mm. Liitteen 11 CDH3 MF3 -sarjan sylinterin mitoista voidaan katsoa sylinterin pituus. Liitteen 11 mittoja apuna käyttäen pituudeksi $l_{\text{cyl } C80}$ saadaan 750 mm. Pituus on saatu mitoista $(ZB + X^*)$, missä ZB on sylinterin rakenteellinen pituus ja X^* sylinterin iskunpituus. Sylinterin redusoiduksi pituudeksi L saadaan $L = 2l_{\text{cyl } C80}$ eli 1500 mm. Käytetään varmuuskertoimena $n = 3$ ja teräksen kimmokertoimena E käytetään 206 Gpa. Yhden sylinterin nurjahdusvoima $F_{n \text{ cyl } C80}$ on laskettuna alla kaavalla (3).

$$F_{n \text{ cyl } C80} = \frac{\pi^2 206 * 10^9 \text{ Pa} * 1,89 * 10^{-5} \text{ m}^4}{3(1,5 \text{ m})^2} \approx 5690 * 10^3 \text{ N}$$

Yhden sylinterin nurjahdusvoima on noin 5690 kN, joka on huomattavasti suurempi kuin kolmen sylinterin yhteenlaskettu aukeamisvoima 2900 kN. Nurjahdusvaaraa ei ole.

6.1.2 Varolaitteen hydraulisyylinterit Metso C130 -murskaimeen

Työnninlaatan takana on kolme sylinteriä. Lasketaan kaavan (24) avulla yhden sylinterin männän pinta-ala $A_{\text{mäntä } C130}$ kun halutaan, että sylinterit aukeavat 10 400 kN voimasta ja painerajana p on 300 bar.

$$A_{\text{mäntä } C130} = \frac{F_{\text{avaus } C130}}{3p} = \frac{10,4 * 10^6 \text{ N}}{3 * 300 * 10^5 \text{ Pa}} \approx 0,1156 \text{ m}^2 \quad (24)$$

Lasketaan yhden sylinterin männän halkaisija $D_{\text{mäntä } C130}$ kaavalla (25).

$$D_{\text{mäntä } C130} = 2 \sqrt{\frac{A_{\text{mäntä } C130}}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0,1156 \text{ m}^2}{\pi}} \approx 0,384 \text{ m} \quad (25)$$

Valitaan sylinterin männän halkaisijaksi 380 mm. Lasketaan tarvittava paine $p_{\text{varolaite } C130}$ kaavalla (26),

$$p_{varolaite\ C130} = \frac{F_{avaus\ C130}}{3A_{cyl\ C130}} = \frac{10,4 * 10^6 N}{3\pi(0,19\ m)^2} \approx 306 * 10^5 Pa \quad (26)$$

missä $A_{cyl\ C130}$ on valitun sylinterin männän pinta-ala. Sylinterin iskunpituudeksi valitaan 340 mm ja männänvarren halkaisijaksi arvioidaan 240 mm. Arvio on saatu liitteen 11 sylinterien mittoja apuna käyttäen, vaikka tämän kokoista sylinteriä ei löydykään suoraan datalehdessä. Lasketaan sylinterin männänvarren jännitys kaavalla (17).

$$\sigma = \frac{F_{avaus\ C130}}{A_{varsi\ C130}} = \frac{10,4 * 10^6 N}{\pi(0,12\ m)^2} \approx 230 * 10^6 Pa$$

Männänvarren jännitys on alle teräksen myötörajan 520 Mpa. Lasketaan sylinterin jäyhyysmomentti $I_{cyl\ C130}$ kaavalla (4).

$$I_{cyl\ C130} = \frac{(0,240\ m)^4 \pi}{64} \approx 1,63 * 10^{-4} m^4$$

Lasketaan sylinterin nurjahdusvoima Eulerin ensimmäisen tapauksen mukaan. Bosch Rexrothin sylintereiden datalehdessä nähdään sylinterit 320 mm:n mäntäkokoon asti. Tämän kokoisen sylinterin pituus 340 mm:n iskunpituudella voidaan lukea liitteestä 11 ja pituudeksi saadaan 1115 mm (ZB + X*). Valitun 380/240 sylinterin mittoja ei ole saatavilla datalehdessä, joten sen pituudeksi $l_{cyl\ C130}$ arvioidaan 1155 mm. Sylinterin redusoitu pituus $L = 2l_{cyl\ C130}$ eli 2310 mm. Käytetään varmuuskertoimena $n = 3$. Sylinterin nurjahdusvoima lasketaan kaavalla (3).

$$F_{n\ cyl\ C130} = \frac{\pi^2 206 * 10^9 Pa * 1,63 * 10^{-4} m^4}{3(2,31\ m)^2} \approx 20,7 * 10^6 N$$

Yhden sylinterin nurjahdusvoima 20 700 kN on huomattavasti suurempi kuin haluttu varolaitteen avautumisvoima 10 400 kN, joten nurjahdusvaaraa ei ole.

6.2 Paineenrajoitusventtiilien mitoitus

Paineenrajoitusventtiileitä mitoittaessa täytyy ottaa huomioon järjestelmän paineraja sekä kuinka suuri tilavuusvirta venttiilien läpi suurimmillaan kulkee. Paineenrajoitusventtiilien läpi kulkevan suurimman tilavuusvirran laskemiseen käytetään tilannetta, jossa kiertomurskaimen kitaan on joutunut murskautumaton kappale. Lisäksi oletetaan, että tässä tilanteessa varolaitteen sylinterit painuvat yhden työsyklin aikana murskaimen iskunpituuden verran kasaan. Tyypillinen iskunpituus C80-murskaimelle on 24 mm ja C130-murskaimelle 40 mm. Tavanomainen C80-murskaimen epäkeskoakselin kierros-

nopeus on 360 rpm (6 Hz) ja C130-murskaimen 220 rpm ($\frac{11}{3}$ Hz). Lasketaan kuinka nopeasti mäntä liikkuu tällaisessa tilanteessa.

Epäkeskoakselin pyöriessä yhden kierroksen murskain ehtii tehdä kokonaisen iskuliikkeen ja loitonnuksliikkeen. Aika, jona murskain tekee iskuliikkeen, on puolet kokonaisen kierroksen ajasta. Iskuliikkeen ajat C80-murskaimelle ja C130-murskaimelle kyseisillä kierrosnopeuksilla on laskettuna alla kaavoilla (27) ja (28),

$$\text{Iskuliikkeen aika}_{C80} = \frac{1}{2 f_{C80}} = \frac{1}{2 * 6 \text{ Hz}} \approx 0,083 \text{ s} \quad (27)$$

$$\text{Iskuliikkeen aika}_{C130} = \frac{1}{2 f_{C130}} = \frac{1}{2 * \frac{11}{3} \text{ Hz}} \approx 0,136 \text{ s} \quad (28)$$

missä f_{C80} vastaa C80-murskaimen pyörimistaajuutta ja f_{C130} vastaa C130-murskaimen pyörimistaajuutta. Iskuliikkeeseen käytetyn ajan ja iskuliikkeen pituuden avulla lasketaan sylintereiden liikenopeus. Liikenopeudet $v_{cyl \text{ C80}}$ ja $v_{cyl \text{ C130}}$ on laskettuna alla kaavoilla (29) ja (30),

$$v_{cyl \text{ C80}} = \frac{S_{iskunpituus \text{ C80}}}{\text{Iskuliikkeen aika}_{C80}} = \frac{0,024 \text{ m}}{0,083 \text{ s}} \approx 0,29 \text{ m/s} \quad (29)$$

$$v_{cyl \text{ C130}} = \frac{S_{iskunpituus \text{ C130}}}{\text{Iskuliikkeen aika}_{C130}} = \frac{0,040 \text{ m}}{0,136 \text{ s}} \approx 0,29 \text{ m/s} \quad (30)$$

missä $S_{iskunpituus \text{ C80}}$ on C80-murskaimen iskunpituus ja $S_{iskunpituus \text{ C130}}$ on C130-murskaimen iskunpituus. Lasketaan paineenrajoitusventtiilin läpi kulkevat tilavuusvirrat $Q_{prv \text{ C80}}$ ja $Q_{prv \text{ C130}}$ kaavoilla (31) ja (32) käyttäen edellä laskettuja liikenopeuksia sekä valittuja sylintereitä.

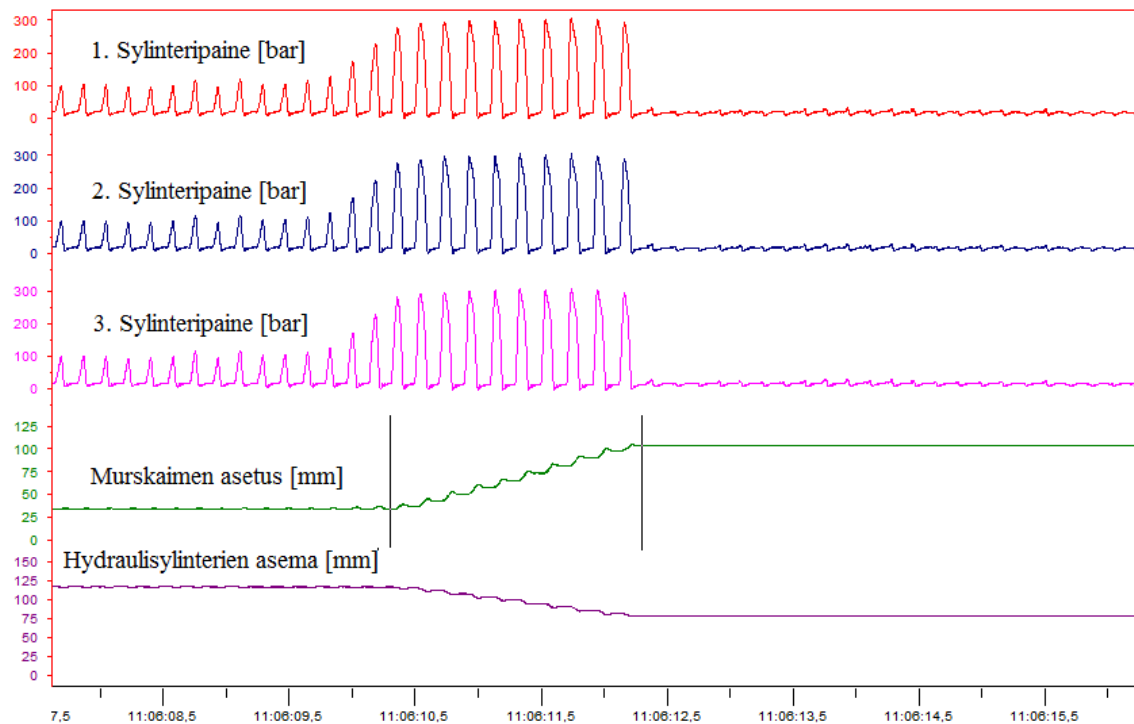
$$\begin{aligned} Q_{prv \text{ C80}} &= A_{cyl \text{ C80}} v_{cyl \text{ C80}} = \pi(0,100 \text{ m})^2 0,29 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 9,1 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= 546 \frac{\text{l}}{\text{min}} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} Q_{prv \text{ C130}} &= A_{cyl \text{ C130}} v_{cyl \text{ C130}} = \pi(0,19 \text{ m})^2 0,29 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 32,9 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= 1974 \frac{\text{l}}{\text{min}} \end{aligned} \quad (32)$$

Huomataan, että teoreettisesti lasketut tilavuusvirrat ovat hyvin suuria. Suoraan ohjatut paineenrajoitusventtiilit soveltuvat suurimmillaan noin 120 l/min läpäisyyn, joten paineenrajoitusventtiilien tulisi olla esiohjattuja. [10, s. 196] Kuitenkin tilanne, missä

varolaitesylinterit painuisivat yhden iskuliikkeen aikana murskaimen iskunpituuden verran, olisi erittäin epätodennäköinen. Tämän takia on hyvä tarkastella kuinka suuri tilavuusvirta kulki mitatun C95-murskaimen hydraulikäyttöisen varolaitteen mittauksissa.

Kuvaan 6.1 on koottu testistä Varolaite_T2 saadut sylinteripaineiden mittasignaalit, murskaimen asetus ja varolaitteen hydraulisylinterien asemasignaali. Murskaimen asetussignaaliin on merkattu viivoilla aikajakso jona murskaimen asetus suureni. Murskaimen asetus suureni pykälittäin murskaimen pyörimisnopeuden mukaan. Lasketaan kuinka monta kierrosta murskain pyöri ja katsotaan kuinka paljon murskaimen asetus suureni kyseisenä ajanjaksona.



Kuva 6.1 Mitatun C95-murskaimen varolaitemittaus, testi Varolaite_T2.

Kuvasta 6.1 nähdään, että viivojen väliin jäi 10 huippua. Aikajakson pituus oli 2,01 s jolloin yksi kierros kesti 0,201 s. Iskuliikkeen kesto $t_{isku\ C95}$ on puolet kierroksen ajasta eli 0,1005 s. Murskaimen asetus kasvoi 33,25 millimetristä 104,82 millimetriin. Tätä ei kuitenkaan tarvitse skaalata varolaitesylintereiden liikkeeksi. Varolaitesylintereiden liike saatiin luettua suoraan DASyLab-ohjelmalla varolaitesylintereiden asema-anturin signaalista. Sylinterit painuivat 116,70 millimetristä 76,93 millimetriin eli sylintereiden kokonaisliike $s_{koko\ liike\ C95}$ oli 39,77 mm.

Lasketaan edellä saaduilla arvoilla C95-murskaimen hydraulikäyttöisen varolaitteen paineenrajoitusventtiilien läpi kulkeva keskimääräinen tilavuusvirta iskuliikkeen aikana. Lasketaan ensin sylinterien liike $s_{liike\ C95}$ kaavalla (33),

$$S_{liike\ C95} = \frac{S_{koko\ liike\ C95}}{Z_{iskuliike}} = \frac{0,03977\ m}{10} = 3,977 * 10^{-3}m \quad (33)$$

missä $Z_{iskuliike}$ on iskuliikkeiden lukumäärä. Sylinterin iskuliikkeen nopeus $v_{cyl\ C95}$ saadaan kaavalla (34).

$$v_{cyl\ C95} = \frac{S_{liike\ C95}}{t_{isku\ C95}} = \frac{3,977 * 10^{-3}m}{0,1005\ s} \approx 0,0396\ \frac{m}{s} \quad (34)$$

Yhden paineenrajoitusventtiilin läpi kulkeva tilavuusvirta puristusliikkeessä voidaan nyt laskea kaavalla (35),

$$\begin{aligned} Q_{prv\ C95} &= A_{mäntä\ C95} * v_{cyl\ C95} = \pi(0,100\ m)^2 * 0,0396\ \frac{m}{s} \\ &\approx 1,24 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s} = 74,4\ \frac{l}{min} \end{aligned} \quad (35)$$

missä $A_{mäntä\ C95}$ on C95-murskaimen varolaitteen männän pinta-ala. Yhden paineenrajoitusventtiilin läpi kulkeva tilavuusvirta iskuliikkeen aikana oli 74,4 l/min. Tämän suuruksilla tilavuusvirroilla voitaisiin käyttää suoraan ohjattuja paineenrajoitusventtiileitä.

Lasketaan nyt uudet tilavuusvirrat C80-murskaimen ja C130-murskaimen varolaitteen paineenrajoitusventtiileille käyttäen hyödyksi edellä saatuja tuloksia. Tyypillinen C95-murskaimen iskunpituus on 30 mm. Jos oletetaan, että C80-murskain ja C130-murskain käyttäytyisivät samalla tavalla ylikuormitustilanteessa kuin C95-murskain, niin niidenkään varolaitesylinterit eivät painuisi koko murskaimen iskunpituuden verran yhden puristusliikkeen aikana. Lasketaan kuinka paljon C95-murskaimen varolaitesylinterit painuivat yhden puristusliikkeen aikana suhteessa murskaimen iskunpituuteen kaavalla (36),

$$y = \frac{S_{liike\ C95}}{S_{isku\ C95}} = \frac{3,977 * 10^{-3}m}{0,030\ m} \approx 0,13 \quad (36)$$

missä y on C95-murskaimen sylintereiden liikkeen $S_{liike\ C95}$ suhde C95-murskaimen iskun-pituuteen $S_{isku\ C95}$. Käytetään tätä suhdearvoa y kun lasketaan paljonko C80-murskaimen ja C130-murskaimen varolaitteen sylinterit painuivat yhden puristusliikkeen aikana ylikuormitustilanteessa. Lasketaan kaavoilla (37) ja (38) kuinka suuri tilavuusvirta C80-murskaimen ja C130-murskaimen paineenrajoitusventtiilien läpi kulkisi. Käytetään varmuuskerrointa $n = 3$.

$$\begin{aligned}
 Q_{prv\ uusi\ C80} &= nyQ_{prv\ C80} = 3 * 0,13 * 9,1 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} \approx 0,0035 \frac{m^3}{s} \\
 &= 210 \frac{l}{min}
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{prv\ uusi\ C130} &= nyQ_{prv\ C130} = 3 * 0,13 * 32,9 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 0,013 \frac{m^3}{s} \\
 &\approx 780 \frac{l}{min}
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

Paineenrajoitusventtiilien läpi kulkevaksi tilavuusvirraksi C80-murskaimelle saadaan 210 l/min ja C130-murskaimelle 780 l/min.

Tilavuusvirrat ovat edelleen suuria, joten paineenrajoitusventtiileiksi tulisi valikoida esiohjatut paineenrajoitusventtiilit. Esimerkiksi Bosch Rexroth tarjoaa nimelliskoon NS 25 esiohjattuja paineenrajoitusventtiileitä joiden maksimikäyttöpaine on 350 bar ja maksimitilavuusvirta 400 l/min. Nimelliskoon NS 25 esiohjattu paineenrajoitusventtiili olisi sopiva C80-murskaimen varolaitteeseen. Bosch Rexroth tarjoaa myös nimelliskoon NS 52 suuruisia esiohjattuja paineenrajoitusventtiileitä joiden maksimikäyttöpaine on 315 bar ja maksimitilavuusvirta 2000 l/min. [28] Tämä olisi sopiva C130-murskaimen varolaitteeseen. Venttiilit on syytä hieman ylittää sillä ylikuormitustilanteet voivat olla hyvinkin erilaisia eikä tällöin varolaitteen paineenrajoitusventtiilien läpi kulkevaa tilavuusvirtaa voida tarkalleen tietää. Bosch Rexrothin nimelliskokojen NS 25 ja NS 52 esiohjattujen paineenrajoitusventtiilien ominaiskäyrät ovat liitteenä 12.

Esiohjatut paineenrajoitusventtiilit ovat kuitenkin suhteellisen hidastoimisia. Yksi vaihtoehto olisi kytkeä suoraanohjattu paineenrajoitusventtiili esiohjatun paineenrajoitusventtiilin rinnalle. Suoraanohjattu paineenrajoitusventtiili vastaisi paremmin nopeisiin painepiikkeihin ja siten pienentäisi suurimpia painepiikkejä. Tällöin myös rinnalle kytkettävä esiohjattu paineenrajoitusventtiili voisi olla pienempi kuin edellä mitoitettut.

7 YHTEENVETO

Työn yhtenä tavoitteena oli selvittää leukamurskaimen työnninlaattaan kohdistuvien voimien mittaamiseen soveltuvia anturointivaihtoehtoja. Tätä varten aluksi selvitettiin leukamurskaimen toimintaperiaate ja pääkomponentit. Leukamurskaimen toimintaperiaatteen selvitys helpottaa ymmärtämään mistä työnninlaattaan tulevat murskausvoimat aiheutuvat. Ennen kuin anturointia voitiin miettiä pidemmälle, piti työnninlaatta-voimien suuruusluokka tietää. Työnninlaattavoimat mitattiin käyttäen menetelmiä, joilla leukamurskaimen rakennetta ei tarvitse muuttaa. Työnninlaattavoimamittaukset suoritettiin Metso Minerals Oy:n tuottamien muiden mittausten ohessa.

Työn toinen tavoite oli mitoittaa hydraulikäyttöisen varolaitteen pääkomponentit kahteen Metso C-sarjan leukamurskainmalliin: Metso C80 ja C130 -murskaimeen. Kyseiset mallit valikoitiin sillä niiden työnninlaattaan kohdistuvat voimat olivat tiedossa ja näihin murskainmalleihin ei vielä ole saatavilla hydraulikäyttöistä varolaitetta. Hydraulikomponenttien mitoituksen tarkoituksena oli tarkastella mitä asioita mitoituksessa tulee ottaa huomioon ja saada käsitys komponenttien kokoluokasta.

Työnninlaattaan kohdistuvat murskausvoimat mitattiin C80-murskaimen ja C130-murskaimen lisäksi hydraulikäyttöisellä varolaitteella varustetusta C95-murskaimesta. C95-murskaimen työnninlaattavoimat mitattiin käyttäen kahta eri mittaustapaa. Työnninlaattavoimia mitattiin samanaikaisesti molemmilla menetelmillä. Ensimmäinen menetelmä on Metso Minerals Oy:n yleisesti käyttämä tapa mitata työnninlaattavoimia venymäliuskojen avulla. Toinen mittausmenetelmä, jota voitiin soveltaa C95-murskaimen tapauksessa, oli mitata työnninlaattavoima hydraulikäyttöisen varolaitteen sylintereiden paineista. Muista mittauksista poiketen C95-murskaimen kitaan aiheutettiin epätasainen kuorma sinne pudotetuilla rautakappaleilla. Kun rautakappaleen pudotuskohta tiedettiin, voitiin tarkastella mittausmenetelmien kykyä tunnistaa toispuoleisia työnninlaattavoimia.

Hydraulikäyttöisen varolaitteen mitoittamista sekä työnninlaatan anturointia varten tärkeimpinä mittaustuloksina olivat suurimmat työnninlaattaan kohdistuneet voimat. Suurimmat C80 ja C130 -murskaimen työnninlaattaan kohdistuneet voimat olivat seuraavat:

- Metso C80 -murskain
 - 2679 kN
- Metso C130 -murskain
 - 7595 kN

Suurimpien työnninlaattavoimien perusteella pystyttiin tarkastelemaan muun muassa työnninlaattassa tapahtuvia fyysisiä muutoksia kuten puristumaa. Näiden perusteella tarkasteltiin sopivia anturointivaihtoehtoja. Suurimpia työnninlaattavoimia käytettiin myös alkuarvoina hydraulikäyttöisen varolaitteen komponenttien mitoittamiseen.

Työnninlaattavoimien ja ennalta määritetyn painerajan avulla saatiin hydraulisylinterien kokoluokka mitoittettua, mutta paineenrajoitusventtiilien mitoittamiseen tarvittiin lisäksi niiden läpi kulkeva tilavuusvirta. Lopullinen paineraja saatiin selvitettyä kun sylintereiden koko oli valittu, mutta suurimman tilavuusvirran laskeminen oli hieman haasteellista. Jos suurimman tilavuusvirran oletti teoreettisesti pahimman mahdollisen tilanteen kautta, tilavuusvirroista tuli hyvin suuria. Tämän vuoksi tilavuusvirtojen laskemiseen hyödynnettiin C95-murskaimen hydraulikäyttöisen varolaitteen mittauksista saatuja tuloksia. Suurimmiksi tilavuusvirroiksi saatiin seuraavat arvot:

- Metso C80 -murskain
 - 210 l/min
- Metso C130 -murskain
 - 780 l/min

Metso C95 -murskaimen tärkeimmät mittaustulokset saatiin testeistä, joissa kitaan pudotettiin rautakappale. Rautakappaleella aiheutettiin epätasainen kuorma kitaan ja näin pystyttiin selvittämään mittausten menetelmien kykyä tunnistaa toispuoleisia voimia. Mittaustuloksista havaittiin, että mittaamalla venymäliuskoilla työnninlaatan venymää voidaan tunnistaa toispuoleisia voimia. Sen sijaan varolaitteen sylintereihin kytketyillä paineantureilla ei pystytä tunnistamaan toispuoleisia voimia. Jotta toispuoleiset voimat voitaisiin mitata sylinteripaineista, pitäisi varolaitteen hydraulikytkentöjä muuttaa. Metso C95 -murskaimen varolaitteen kaikki hydraulisylinterit ovat kytketty samaan painelinjaan, kuten kuvasta 6.8 havaitaan. Jos hydraulisylinterit olisivat kukin kytketty erikseen omaan paineenrajoitusventtiiliin, voisi toispuoleisien voimien tunnistaminen olla mahdollista.

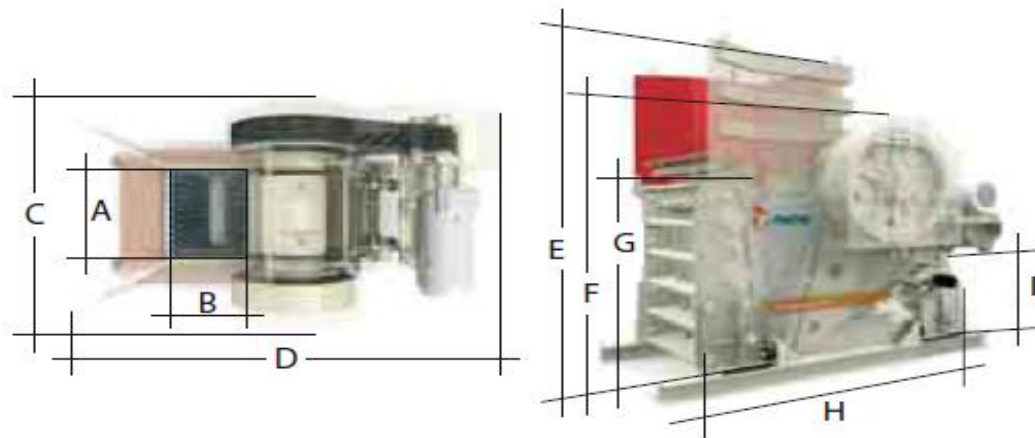
Työnninlaatan anturoinnin kannalta kaikkein helpoin ratkaisu olisi käyttää sellaisia antureita jotka voidaan asentaa suoraan nykyisen mallisiin leukamurskaimiin. Tällä tavoin välttäisi suurilta rakenteellisilta muutoksilta. Tähän soveltuu parhaiten venymäliuska-antureiden lisäksi pistehitsattavat ja ruuvikiinnitteiset venymäanturit. Ruuvikiinnitteiset ja pistehitsattavat venymäanturit sisältävät jo itsessään tarpeellisen

LÄHTEET

- [1] K. Viilo, Crushing and screening handbook, Fifth edition, 2011. pp. 293
- [2] T. Lukkarinen, Mineraalitekniikka Osa 1 Mineraalien hienonnus, 2. painos, Insinööritieto Oy, Helsinki, 1985, 330 s.
- [3] Metso Minerals Oy, Metso crushing and screening solutions, Available: [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/D6E538CD6434A8B6C2257C74002B342E/\\$File/Metso_crushing_and_screening_solutions.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/D6E538CD6434A8B6C2257C74002B342E/$File/Metso_crushing_and_screening_solutions.pdf) [Haettu 25.3.2014].
- [4] Queensminedesign, [Online], Available: <https://queensminedesign.miningexcellence.ca/index.php/Crushers> [Haettu 28 3 2014].
- [5] N. Lamminmäki, DI, Leukamurskainspesialisti, Metso Minerals Oy, [Haastattelu], [17.3.2014].
- [6] E. Valtanen, Tekniikan taulukkokirja, Genesis-kirjat Oy, 14. painos, 2007, 1037 s.
- [7] Metso Minerals Oy, Active setting control, [Raportti], 2007. 14 s.
- [8] Metso Minerals Oy, Hydraulisen ylikuormasuojan mittaukset, [Mittauksia], 2004.
- [9] J. Jonkka, DI, Leukamurskainten asiantuntija, Metso Minerals Oy, [Keskustelu], [9.1.2015]
- [10] H. Kauranne, J. Kajaste, M. Vilenius, Hydraulitekniikan perusteet, Helsinki, WSOY, 1996, 340 s.
- [11] Engineerintoolbox, [Online], Available: http://www.engineersedge.com/material_science/yield_strength.htm [Haettu 23.9.2014]
- [12] S. Ian, Sensors and Transducers, 3rd Edition, Newnes, 2000, pp. 256
- [13] O. Aumala, Mittaustekniikan perusteet, 8. painos, Helsinki, Otatieto Oy, 1999, 223 s.

- [14] National Instruments, Wheatstone sillan piirikaavio, [Online], Available: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/11C3713203A6C77A86257A8E00493144> [Haettu 15.5.2014]
- [15] Wikipedia, Strain Gauge, [Online], Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge [Haettu 16.5.2014]
- [16] W. Nawrocki, Measurement Systems and Sensors, Norwood, Artech House, 2005, pp. 338
- [17] The Engineering Toolbox, Stress, Strain and Yong's Modulus, [Online], Available: http://www.engineeringtoolbox.com/stress-strain-d_950.html. [Haettu 19.5.2014]
- [18] Metso Minerals Oy, C80 effect of crushability on jaw crusher performance, [Measurements results], 2013
- [19] Metso Minerals Oy, Rock Tests database, [Database]
- [20] H. Honkanen, Oppimateriaalia, [Internet], Available: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ELE_A%20N%20T%20U%20R%20I%20T.pdf [Haettu 23.7.2014]
- [21] MICRO-EPSILON, Inductive Sensor, [Online], Available: <http://www.micro-epsilon.com/displacement-position-sensors/inductive-sensor-lvdt/LVDT-Gauge-Serie-DTA/index.html> [Haettu 5.8.2014]
- [22] MICRO-EPSILON, Laser Sensor, [Online], Available: <http://www.micro-epsilon.com/glossar/Laser-Triangulation.html> [Haettu 24.7.2014]
- [23] MICRO-EPSILON, Confocal Sensor, [Online], Available: <http://www.micro-epsilon.com/displacement-position-sensors/confocal-sensor/index.html> [Haettu 5.8.2014]
- [24] HBM, Strain Transducers, [Online], Available: <http://www.hbm.com/en/menu/products/transducers-sensors/strain/> [Haettu 25.7.2014]
- [25] ALAT UJI, Spot weldable strain gauge, [Online], Available: <http://www.alatuji.com/detail/176/690/spot-weldable-strain-gauge.html> [Haettu 24.9.2014]
- [26] KYOWA, Venymäliuskaesite, [Katalogi], 2014. 93 s.
- [27] K. Kukkurainen, Toimitusjohtaja Straintech Finland Oy, [Haastattelu], 17.9.2014

- [28] Bosch Rexroth, Paineenrajoitusventtiilit, [Online], Available:
<http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=FI&Region=none&VHist=p537336,p537699&PageID=p545156> [Haettu 30.9.2014]
- [29] KYOWA, General-purpose foil strain gages, [Online], Available:
http://www.kyowa-ei.com/eng/product/category/strain_gages/kfg/index.html
[Haettu 9.6.2014]
- [30] Bosch Rexroth, single rod cylinders, [Online], Available:
<http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=EN&Region=none&VHist=p537326,p537327&PageID=p537595> [Haettu 15.7.2014]

LIITE 1: Metso C –sarjan leukamurskaimien mittoja [1, luku 3 s. 16]**Dimensions & Weights**

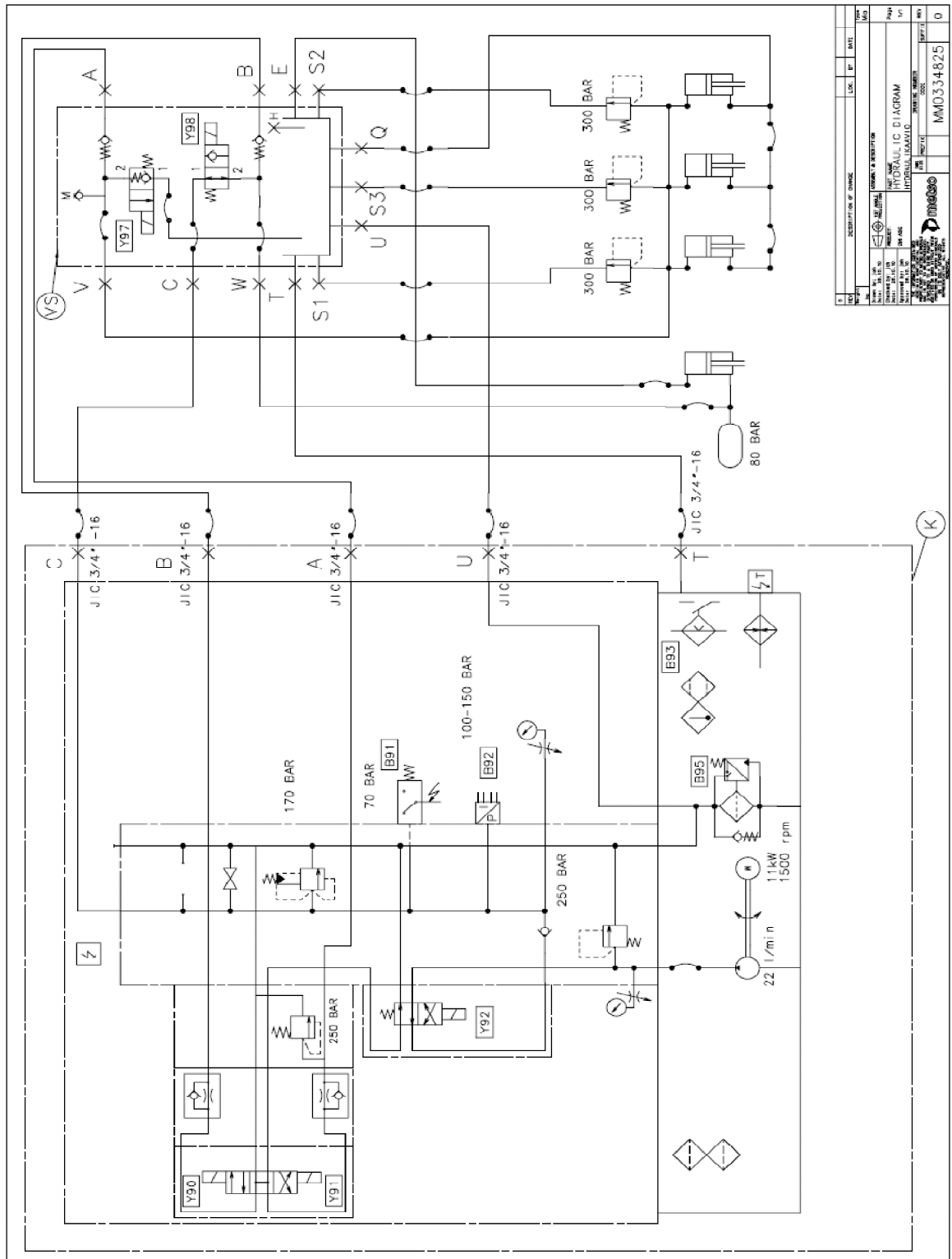
		C80	C100	C96	C106	C116	C3054	C110	C125	C140	C145	C160	C200
A	mm	800	1000	930	1060	1150	1380	1100	1250	1400	1400	1600	2000
	in.	32	40	37	42	45	54	44	50	56	56	63	79
B	mm	510	760	580	700	800	760	850	950	1070	1100	1200	1500
	in.	21	30	23	28	32	30	34	38	43	44	48	60
C	mm	1526	2420	1755	2030	2400	2640	2385	2800	3010	3110	3700	4040
	in.	61	96	70	80	95	104	94	111	119	123	146	160
D	mm	2577	3670	2880	3320	3600	3540	3770	4100	4400	4600	5900	6700
	in.	102	145	114	131	144	140	149	162	174	182	233	264
E	mm	1990	2890	1610	2075	2675	2470	2890	3440	3950	4100	4580	4950
	in.	79	114	64	82	105	98	114	136	156	162	181	195
F	mm	1750	2490	1460	2005	2730	2470	2750	2980	3140	3410	3750	4465
	in.	69	99	58	79	107	98	109	118	124	135	148	176
G	mm	1200	1700	755	1135	1790	1080	1940	2100	2260	2430	2650	2800
	in.	48	67	30	45	71	43	77	83	89	96	105	111
H	mm	2100	2965	2500	2630	2885	2950	2820	3470	3755	3855	4280	4870
	in.	83	117	99	104	114	117	112	137	148	152	169	192
I	mm	625	775	465	700	1255	690	580	980	1050	1050	1300	1400
	in.	25	31	19	28	50	28	23	39	42	42	52	56
Basic crusher	kg	7 670	20 060	9 759	14 350	18 600	25 900	25 800	37 970	47 120	54 540	71 330	121 510
weight ¹⁾	lbs	16 900	44 240	21 520	31 650	40 920	57 100	56 880	83 730	103 900	120 260	157 280	267 930
Fully equipped	kg	9 520	23 300	11 870	17 050	21 500	30 300	29 500	43 910	54 010	63 190	83 300	137 160
crusher weight ²⁾	lbs	21 000	51 390	26 170	37 590	47 300	66 800	65 050	96 830	119 100	139 330	183 680	302 440

1) Crusher without options

2) Crusher, hydraulic setting adjustment, flywheel guards, integral motor support, feed chute, automatic grease lubrication system, and typical electric motor.

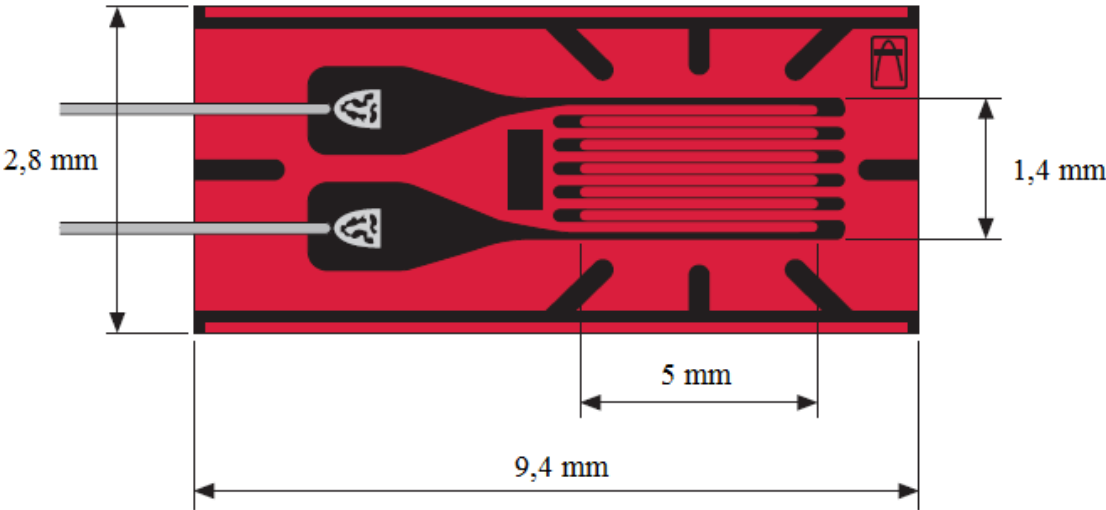
Certified general arrangement, foundation and service space requirement drawings are available from Metso.

LIITE 2: Hydraulikäyttöisen varolaitteen hydraulikaavio



LIITE 3: Venymäliuskan teknisiä tietoja KFG-5-120-C1-11L5M3R [29]

KYOWA			MADE IN JAPAN		
TYPE KFG-5-120-C1-11L5M3R					
GAGE FACTOR (24°C,50%RH)	2.08±1.0%	C130	LOT No. Y3609S	BATCH 407A	T07
GAGE LENGTH	5 mm		TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR +0.008 %/°C		
GAGE RESISTANCE(24°C,50%RH)	120.4±0.4Ω		APPLICABLE GAGE CEMENT CC-33A , EP-34B		
ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	11.7 PPM/°C		QUANTITY 10		
KYOWA STRAIN GAGES					



Venymäliuskan mitat

LIITE 4: Murskautuvuus ja kuluttavuusarvotaulukko

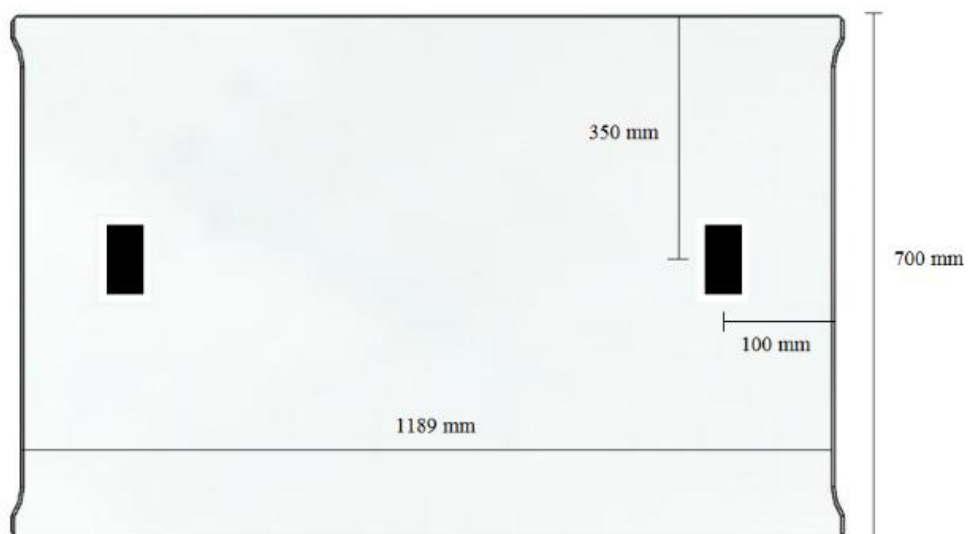
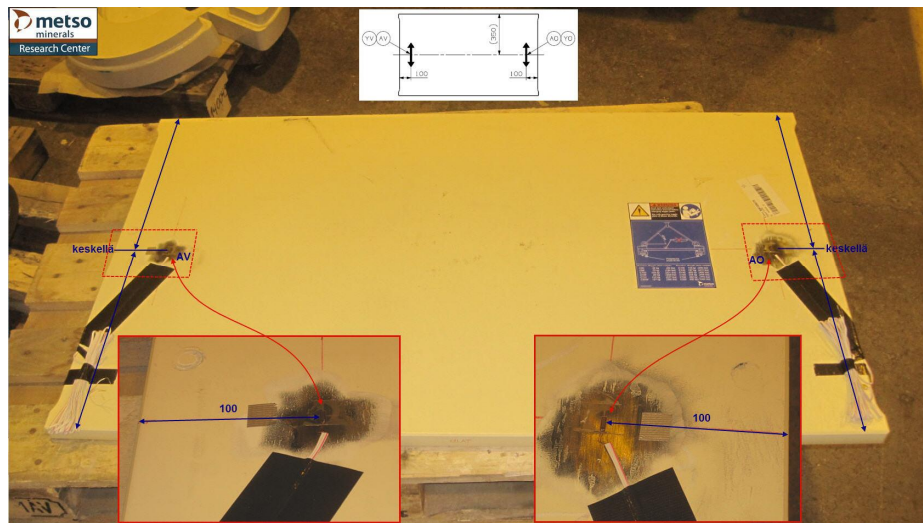
	Murskautuvuus [%]		Kuluttavuus [g/t]
erittäin helppo	50 – 100	ei kuluttava	0 – 100
helppo	40 – 50	vähän kuluttava	100 – 600
keskitaso	30 – 40	keskikuluttava	600 – 1200
vaikea	20 – 30	kuluttava	1200 – 1700
erittäin vaikea	0 – 20	erittäin kuluttava	1700 –

Murskautuvuusarvo indikoi kiviaineksen kovuutta ja kykyä vastustaa murskaamista. Kuluttavuusarvo havainnollistaa materiaalin kuluttamisominaisuuksia kun sitä murskataan. Arvot perustuvat standardoituun murskautuvuus ja kuluttavuustestiin.

LIITE 5: Metso C80 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaustulokset

<i>Test num.</i>	<i>Material, location</i>	<i>Crushability [%]</i>	<i>Setting [mm]</i>	<i>Stroke [mm]</i>	<i>Crusher speed [rpm]</i>	<i>Nominal feed fraction</i>	<i>Repeat</i>	<i>Toggle plate force RMS [kN]</i>	<i>Toggle plate force Max [kN]</i>
<i>T1</i>	Limestone, Vampula	62	90	24	355	100/400	1	376	1903
<i>T2B</i>	Limestone, Vampula	62	90	24	355	100/400	2	438	2099
<i>T3</i>	Limestone, Vampula	62	90	24	355	100/400	3	374	1837
<i>T4</i>	Limestone, Vampula	62	50	24	355	100/400	1	361	1903
<i>T5</i>	Limestone, Vampula	62	50	24	355	100/400	2	411	1500
<i>T6</i>	Limestone, Vampula	62	50	24	355	100/400	3	425	1927
<i>T7</i>	Granite, Kaivanto	55	90	24	355	100/400	1	448	2399
<i>T8B</i>	Granite, Kaivanto	55	90	24	355	100/400	2	436	2067
<i>T9B</i>	Granite, Kaivanto	55	90	24	355	100/400	3	465	2355
<i>T10</i>	Granite, Kaivanto	55	50	24	355	100/400	1	506	2102
<i>T11</i>	Granite, Kaivanto	55	50	24	355	100/400	2	521	2080
<i>T12</i>	Granite, Kaivanto	55	50	24	355	100/400	3	464	1887
<i>T13</i>	Granite, Sorila	38	90	24	355	100/400	1	529	2392
<i>T14</i>	Granite, Sorila	38	90	24	355	100/400	2	431	2358
<i>T15</i>	Granite, Sorila	38	90	24	355	100/400	3	388	2409
<i>T16B</i>	Granite, Sorila	38	50	24	355	100/400	1	518	2256
<i>T17</i>	Granite, Sorila	38	50	24	355	100/400	2	461	1834
<i>T18</i>	Granite, Sorila	38	50	24	355	100/400	3	500	2007
<i>T19</i>	Mica-gneis, Ideapark	32	90	24	355	100/400	1	479	2381
<i>T20</i>	Mica-gneis, Ideapark	32	90	24	355	100/400	2	489	2300
<i>T21</i>	Mica-gneis, Ideapark	32	90	24	355	100/400	3	492	2115
<i>T22</i>	Mica-gneis, Ideapark	32	50	24	355	100/400	1	540	2107
<i>T23</i>	Mica-gneis, Ideapark	32	50	24	355	100/400	2	476	2009
<i>T24</i>	Mica-gneis, Ideapark	32	50	24	355	100/400	3	584	2672
<i>T25</i>	Volcanite, Takamaa	33	90	24	355	100/400	1	369	2425
<i>T26</i>	Volcanite, Takamaa	33	90	24	355	100/400	2	450	1956
<i>T27B</i>	Volcanite, Takamaa	33	90	24	355	100/400	3	509	1931
<i>T28</i>	Volcanite, Takamaa	33	50	24	355	100/400	1	513	2091
<i>T29B</i>	Volcanite, Takamaa	33	50	24	355	100/400	2	484	2274
<i>T30</i>	Volcanite, Takamaa	33	50	24	355	100/400	3	516	2508
<i>T31</i>	Volcanite, Patavuori	20	90	24	355	100/400	1	408	2043
<i>T32</i>	Volcanite, Patavuori	20	90	24	355	100/400	2	451	2679
<i>T33</i>	Volcanite, Patavuori	20	90	24	355	100/400	3	481	2115
<i>T34</i>	Volcanite, Patavuori	20	50	24	355	100/400	1	452	2160
<i>T35</i>	Volcanite, Patavuori	20	50	24	355	100/400	2	431	2212
<i>T36</i>	Volcanite, Patavuori	20	50	24	355	100/400	3	418	2064

LIITE 6: Kuvia Metso C130 -murskaimen työninlaatasta, johon on liimattu venymäliuskoja



LIITE 7: Mittauspöytäkirja Kulmakorpi Espoo, C130

1/4



15-17.6.2014

C:\mittaus\C13037294\C13037294 meas file.DS3
 C130 77 Jännitystilä ja prosessi mittaus
 Kulmakorpi Espoo

WBK 516E 806035				600 kW
chn1	1	Crusher Power kW	0-10V	0-400 kW
	2	Scale t/h	0-10V	0-1000 t/h
	3	Crusher RPM	0-4.87V	0-500 rpm
	4	Crusher Trigger		
WBK 16_0				
chn1	1	G1	2,08 kaikki liuskat } Heiluri	
	2	G2		
	3	G3		
	4	G4		
	5	G5		
	6	G6		
	7	G7		
	8	G8		
WBK 16_1				
chn1	1	G9	Rieki } Etupääty	
	2	G10		
	3	G11		
	4	G12		
	5	G13		
	6	G14		
	7	G15		
	8	G16		
WBK 16_2				
chn1	1	G17	Sivulevy } Kannatin	
	2	G18		
	3	G19		
	4	G20		
	5	G21		
	6	G22		
WBK 16_3				
chn1	1	A0	Työnninlaatta }	
	2	V0		
	3	A V		
	4	V V		
WBK 15_4				
chn1	1	Bracket right MD	4-20 mA	4-20 mA var 29
	2	Bracket left MD	50-150 mm	30
	3	Bracket left CD	100-300 mm	31
	4	Damper left MD	50-150 mm	32
	5	CSS	30-250 mm	



②

16.6.2014 piilvipoutaa			
7,66 Ma	130 CSS	170 OSS	80,7 mm
Asetusanturin kalibrointi			
6,79 Ma	110 CSS	150 OSS	68,8 mm
Testi 5	Tyhjäkäyttö		
		start	10:28:44
		stop	35:00
T 2	CSS 110	start	10:51:00
		kivee	52:13
		stop	11:15:30
T 4	CSS 90 (pienin mahdoll)	start	11:35:23
		kivee	
		holvi rammeri	49:00
		stop	11:59:00
T 3	CSS 140	start	12:05:30
		kivee	06:10
			29:25
Muutettu scale staalauk			
2-10V \pm 0-750t/h			
korjaa takaisin 0-7,50			
seuraavaan T 12			
T 13	CSS 90	2-10	75/V
		start	15:49:10
		kivee	50:07
		stop	16:08:45
T 12	CSS 140	start	16:14:30
		kivee	16:17:00
		stop	16:36:40
T 11	CSS 110	start	16:47:05
		kivee	samantien
		stop	17:09:40
T 14	rpm 207		
oili	alusta 70%	start	17:14:15
340tin	17:37:15 \rightarrow 90%	kivee	17:14:30
		stop	17:41:15
T 15	rpm 231		
		start	17:54:30
		stop	18:22:40



30.6

①

C130 -37294 Rudus Kulmakorpi

* Mittaukset jatkuu...

- Murshap väimeentimet vaihdettu, nyt 50 shar (vanhat 40 sharea)
- Asetetaan suojakummi murshap etupäätyyn alapinnan suojaksi → GG liimattu jutekseen
- Spacer asennetaan että päästään ko-
vempaan luokkaan ja pienempään asetu-
seen...

Mittauspäivä/koravat samat kuin 16.6-14 teh-
dyssä mittauksissa...

~~Mittaus~~ Mittauspäivä 30.6.2014

(hotpilla)

Asetusanturin näyttämä (css) 68,5 mm (127 mm) ^{maximilla}

Asetusanturin näyttämä (css) 27,8 mm ^{minimilla}

T2-1 Tyhjäkäyntitesti (ei halkaisu) Alku 14.30.

css 110 220 rpm

Loppu 14.37

T2-2 CSS 110 mm 220 rpm

Alku 14.52.45

Jänniteanturin pää päältä hoidetaan

Kiiree 14.53.38

Economy

Loppu 15.11.06

Vaa'an skaalaus on 2-10 V 0-1000 t/h (tulos-~~mm~~)

T2-3 CSS 70 mm 220 rpm

Alku 15.18.44

Economy

Kiiree 15.20.13

Loppu 15.39.40

T2-4 CSS 90 mm 220 rpm

Alku 15.48.05

Economy

Kiiree 15.48.35

Loppu 16.07.07

T2-6 ~~T2-4~~ eteenpäin WBR 16-3 kanava S YV vaihdettu Channel
Setup Range ~~mm~~ -8.5mV - +8.5mV → -15mV - +15mV

T2-5 CSS 90 mm 220 rpm

Alku 17.21.46

Medium stroke

Kiiree 17.22.40

Loppu 17.40.40

LIITE 7: Mittauspöytäkirja Kulmakorpi Espoo, C130

4/4



T2-6	CS590mm	220 rpm	Alku	19.47.45
Standard			Viite	
			Loppu	19.06.40
T2-7	CS570mm	220 rpm	Alku	19.17.45
Standard			Viite	
			Loppu	19.37.00
T2-8	CS5110mm	220 rpm	Alku	19.51.30
Standard			Viite	19.52.00
Syöte oli aika pientä			Loppu	20.13.40

LIITE 8: Metso C130 -murskaimen työnninlaattavoimien mittaustulokset

<i>Test num.</i>	<i>Location of the feed material</i>	<i>Crushability [%]</i>	<i>Setting [mm]</i>	<i>Crusher speed [rpm]</i>	<i>Nominal feed fraction</i>	<i>Toggle plate force RMS [kN]</i>	<i>Toggle plate force Max [kN]</i>
<i>T 2_6</i>	Kulmakorpi	47	90	220	0/600	1295	7222
<i>T 2_7</i>	Kulmakorpi	47	70	220	0/600	1535	7595
<i>T 2_8</i>	Kulmakorpi	47	110	220	0/600	1053	6616

LIITE 9: Kyowan valmistama ruuveilla kiinnitettävä venymäanturi [26, s. 92]

Gages with Protector KCH

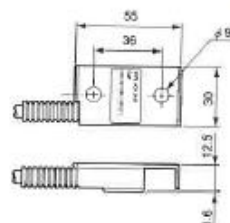


Foil Strain Gages with Protector

The unique design simplifies gage bonding, wiring and moisture-proofing work in the field. In addition, the metal case protects the strain gage and markedly improves reliability compared with conventional gages. Using stud bolts and adhesive, the gages can be mounted to the bottom and side plate of tank for strain measurement, to a hopper or tank for weight measurement, to the shaft of a truck for tare weight measurement or in any similar applications where the gages need to be protected against moisture, water or small stones. (Patent pending)

KCH Gages • Uniaxial/Uniaxial 350 Ω

KCH-5A-B KCH-5A-BJ Bridge (for bending strain) Gage Length 2 mm Resistance 350 Ω Connection Full bridge	KCH-5A-S KCH-5A-SJ Bridge (for shearing strain) Gage Length 2 mm Resistance 350 Ω Connection Full bridge	KCH-5A-1 Uniaxial Gage Length 5 mm Resistance 350 Ω Connection 3-wire	KCH-5A-2 Biaxial, 0°/90° stacked rosette Gage Length 5 mm Resistance 350 Ω Connection 3-wire	KCH-5A-3 Triaxial, 0°/90°/45° stacked rosette Gage Length 5 mm Resistance 350 Ω Connection 2-wire
KCH-5A-B and S come with special flexible vinyl-shielded 4-conductor (0.3 mm ²) cable, 10 m long, 6.8mm in outer diameter and bared at the tip. KCH-5A-BJ and SJ, with flexible vinyl-shielded 4-conductor (0.3 mm ²) cable, 2 m long (cable cover 1.75 m long), 6.3mm in outer diameter (that of cable cover 10.2 mm) and terminated with waterproof connector plug (R04-PS-M6.8). Relay cables TN-29 to 33 are separately sold.		Comes with special flexible vinyl-shielded 4-conductor (0.3 mm ²) cable, 10 m long, 6.8 mm in outer diameter and bared at the tip.		Come with special flexible vinyl-shielded 6-conductor (0.3 mm ²) cable, 10 m long, 6.8 mm in outer diameter and bared at the tip.



• Relay Cables (for KCH-5A-BJ/SJ) (Option)

Model	TN-29	TN-30	TN-31	TN-32	TN-33
Cable length	2 m	3 m	7 m	10 m	12 m
Cable cover length	1.5 m	2.5 m	6.5 m	9.5 m	11.5 m
Remarks	With waterproof connector jack (R04-J6-F6.8); the other end is bared.				

LIITE 10: Kyowan valmistama pistehitseillä kiinnitettävä venymäanturi [26, s. 75]

Encapsulated Weldable Strain Gages

KHC

- Applicable Linear Expansion Coefficients 11, 16 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

Mounting Method and Operating Temperature Range

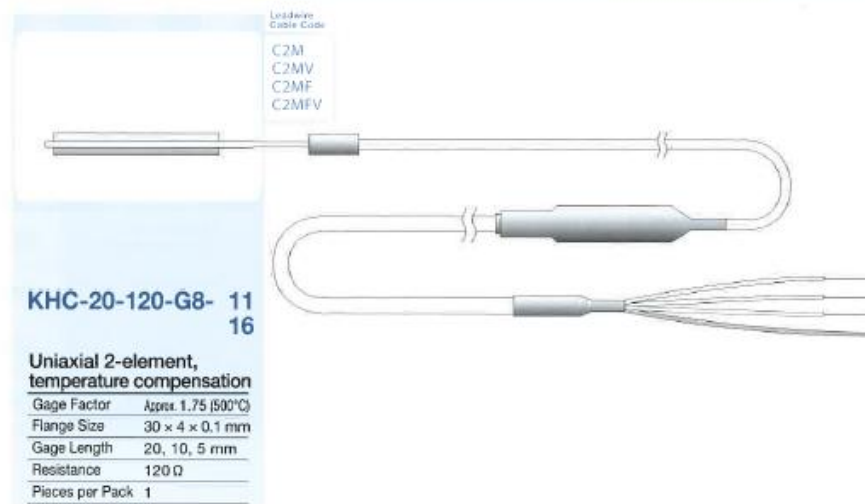
Spot welding: -196 to 550°C

■ Encapsulated Gages for Measurement of Dynamic Strain at 550°C and Static Strain at 500°C

The KHC gages are uniaxial temperature compensation Capsule Gages with 2 elements, active and dummy, forming a half bridge. The sensing part and MI cable are made of Inconel 600 with the G8 type and of stainless steel with the G9 type. Thus, an optimum model for the operating environment can be selected.

KHC Gages

- **Uniaxial**



When ordering, specify the model number as follows:

KHC-20-120-G8- **Leadwire**
Cable Code

(e.g.)

KHC-20-120-G8-11 C2M

Type of Leadwire Cable	Opng. Temp. Range	Leadwire Length	Leadwire Cable Code
Polyethylene-coated cross-link 3-conductor cable	-196 to 550°C	MI cable 2 m Soft cable 50 cm	C2M
Polyethylene-coated cross-link 3-conductor cable with bridge adapter	-196 to 550°C	MI cable 2 m Soft cable 50 cm	C2MV
Polyethylene-coated cross-link 3-conductor cable with compression fitting	-196 to 550°C	MI cable 2 m Soft cable 50 cm	C2MF
Polyethylene-coated cross-link 3-conductor cable with compression fitting and bridge adapter	-196 to 550°C	MI cable 2 m Soft cable 50 cm	C2MFV

LIITE 11: Bosch Rexroth CDH3 MF3 -sarjan sylinterin tiedoja [30]

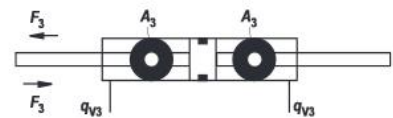
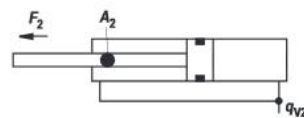
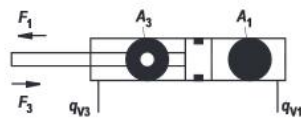
1/3

4/74 Bosch Rexroth AG | Hydraulics

CDH3 / CGH3 / CSH3 | RE 17338/07.13

Diameters, areas, forces, flow

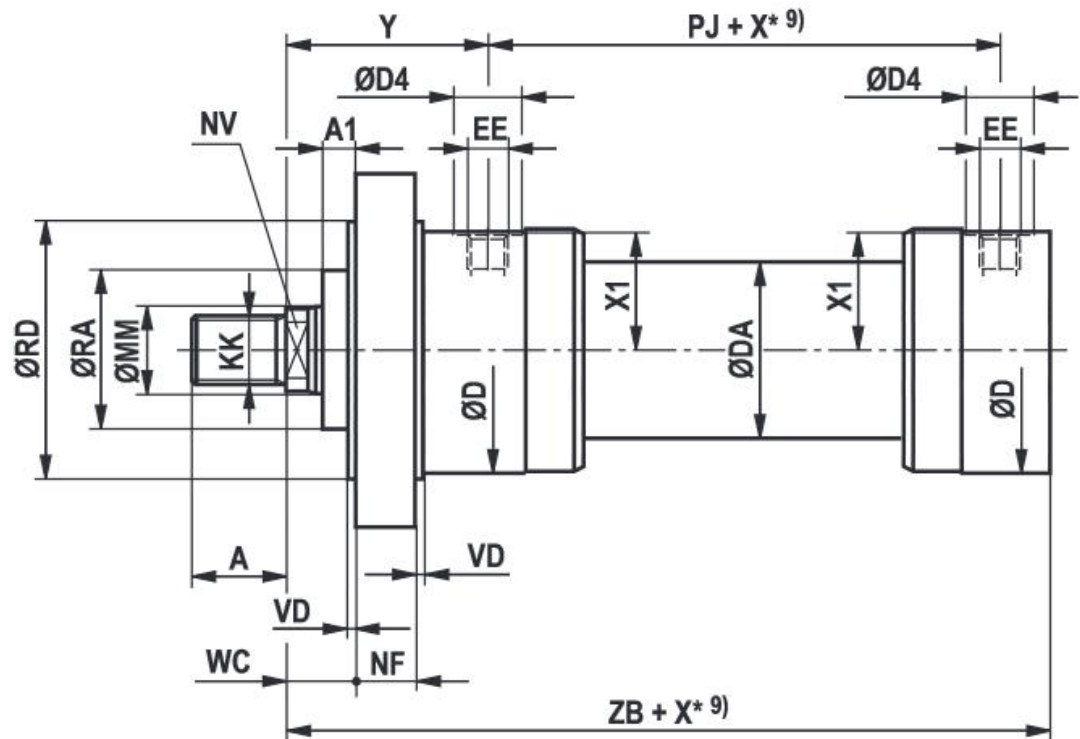
Piston $\varnothing AL$ mm	Piston rod $\varnothing MM$ mm	Area ratio φ A_1/A_3	Areas			Force at 350 bar ¹⁾			Flow at 0.1 m/s ²⁾			Max. available stroke length mm
			Piston A_1 cm ²	Rod A_2 cm ²	Ring A_3 cm ²	Pressure F_1 kN	Diff. F_2 kN	Pulling F_3 kN	Off q_{V1} l/min	Diff. q_{V2} l/min	On q_{V3} l/min	
40	28	1,96	12,56	6,16	6,40	43,96	21,56	22,40	7,5	3,7	3,8	2000
50	36	2,08	19,63	10,18	9,45	68,71	35,63	33,08	11,8	6,1	5,7	2000
63	45	2,04	31,17	15,90	15,27	109,10	55,65	53,45	18,7	9,5	9,2	2000
80	56	1,96	50,26	24,63	25,63	175,91	86,21	89,71	30,2	14,8	15,4	2000
100	70	1,96	78,54	38,48	40,06	274,89	134,68	140,21	47,1	23,1	24,0	3000
125	90	2,08	122,72	63,62	59,10	429,52	222,67	206,85	73,6	38,2	35,4	3000
140	100	2,04	153,94	78,54	75,40	538,79	274,89	263,90	92,4	47,1	45,3	3000
160	110	1,90	201,06	95,06	106,00	703,71	332,71	371,00	120,6	57,0	63,6	3000
180	125	1,93	254,47	122,72	131,75	890,65	429,52	461,13	152,7	73,6	79,1	3000
200	140	1,96	314,16	153,96	160,20	1099,56	538,86	560,70	188,5	92,4	96,1	3000
220	160	2,12	380,1	201,0	179,1	1330,5	703,7	626,8	228,1	120,7	107,4	6000
250	180	2,08	490,8	254,4	236,4	1718,1	890,6	827,4	294,5	152,7	141,8	6000
280	200	2,04	615,7	314,1	301,6	2155,1	1099,6	1055,6	369,4	188,5	180,9	6000
320	220	1,90	804,2	380,1	424,2	2814,9	1330,5	1484,4	482,5	228,1	254,4	6000



¹⁾ Theoretical static cylinder force
(without consideration of the efficiency and admissible load
for attachment parts like e.g. self-aligning clevises, plates or
valves, etc.)

²⁾ Stroke velocity

CDH3 MF3



LIITE 11: Bosch Rexroth CDH3 MF3 -sarjan sylinterin tietoja [30]

3/3

Dimensions CDH3/CGH3: MF3 (dimensions in mm)

ØAL	ØMM	KK ⁵⁾	A ⁵⁾	KK ⁶⁾	A ⁶⁾	NV	ØD	ØDA	ØD4 ²⁾	EE ⁴⁾	EE ⁴⁾	Y	PJ	X1	ØRD ^{e8)}	WC	VD
40	28	M22x1,5	22	M24x2	35	22	92	52	34	G1/2	M22x1,5	91	120	43	95	23	5
50	36	M28x1,5	28	M30x2	45	30	108	62	34	G1/2	M22x1,5	90	120	51,5	115	20	5
63	45	M35x1,5	35	M39x3	55	36	140	78	42	G3/4	M27x2	117	133	67	150	20	5
80	56	M45x1,5	45	M50x3	75	46	148	100	42	G3/4	M27x2	124	146	71,5	160	20	5
100	70	M58x1,5	58	M64x3	95	60	186	125	47	G1	M33x2	119	171	90,5	200	20	5
125	90	M65x1,5	65	M80x3	110	75	235	160	58	G1 1/4	M42x2	170	205	114	245	25	5
140	100	M80x2	80	M90x3	120	85	258	175	58	G1 1/4	M42x2	186	219	126	280	30	10
160	110	M100x2	100	M100x3	140	95	292	200	65	G1 1/2	M48x2	210	240	142,5	300	40	10
180	125	M110x2	110	M110x4	150	110	325	220	65	G1 1/2	M48x2	241	264	159,5	335	40	10
200	140	M120x3	120	M120x4	160	120	350	245	65	G1 1/2	M48x2	262	278	172,5	360	40	10
220	160	M120x3	120	M120x4	160	140	375	292	65	G1 1/2	M48x2	262	326	185	400	40	10
250	180	M130x3	130	M150x4	190	160	440	324	65	G1 1/2	M48x2	272	336	218	450	40	10
280	200	–	–	M160x4	200	180	460	368	65	G1 1/2	M48x2	282	366	228	470	50	10
320	220	–	–	M180x4	220	200	490	406	65	G1 1/2	M48x2	287	391	243	510	55	10

ØAL	ØMM	NF	PK	A1	ZB	ZM	X* min	ØFB H13	ØFC js13	ØUC -1	α	WA	ØRA ⁷⁾	VE ⁷⁾	ØRA ⁸⁾	VE ⁸⁾
40	28	35	120	0	238	302	–	13,5	120	145	60°	18	52	45	52	20
50	36	40	120	0	237	300	–	13,5	140	165	60°	18	70	47	70	19
63	45	40	133	0	285	367	–	17,5	180	210	60°	22	88	43	88	13
80	56	50	146	0	305	394	–	17,5	195	230	60°	22	98	53	98	15
100	70	55	171	0	330	409	–	22	230	270	60°	25	120	55	120	17
125	90	70	205	0	425	545	–	26	290	335	60°	32	150	68	150	20
140	100	70	219	0	457	591	–	30	330	380	60°	35	170	75	170	23
160	110	80	240	0	515	660	–	30	360	420	45°	40	200	90	200	90
180	125	95	264	0	565	746	–	36	400	470	45°	45	230	100	230	100
200	140	105	278	0	600	802	–	36	430	500	45°	45	250	110	250	110
220	160	115	326	20	655	850	–	39	475	550	45°	40	275	125	275	125
250	180	125	336	30	695	880	20	45	530	610	45°	40	320	135	320	135
280	200	130	366	25	735	930	–	45	550	630	45°	40	335	150	335	150
320	220	140	391	25	775	965	340	45	590	670	30°	40	350	165	350	165

ØAL = Piston Ø

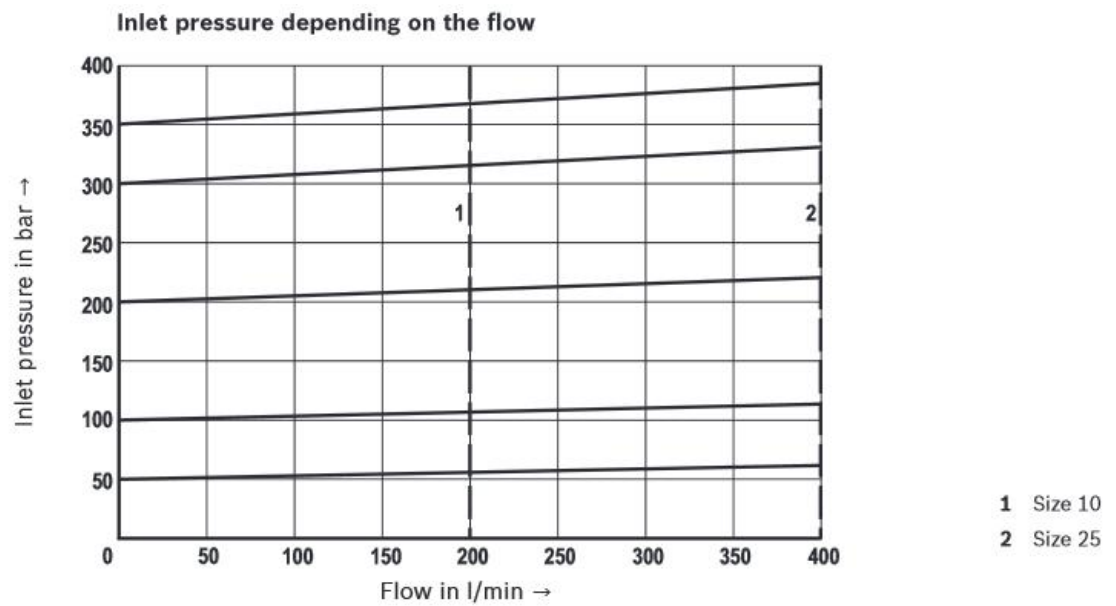
ØMM = Piston rod Ø

X* = Stroke length

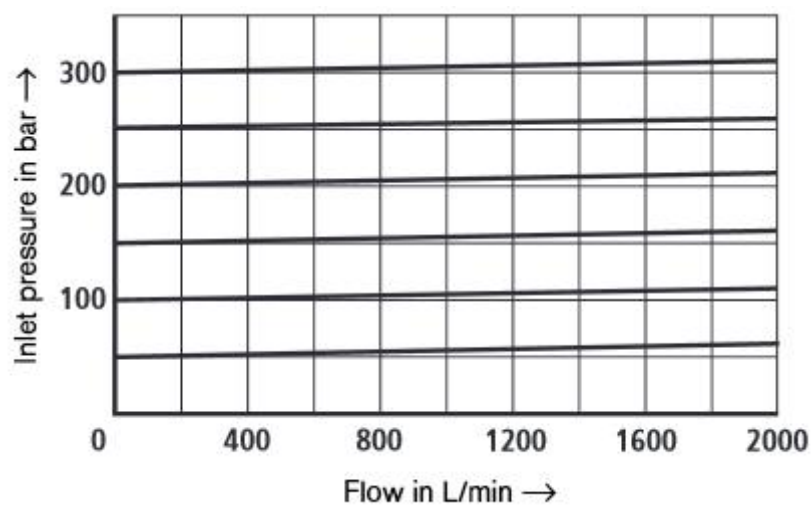
X*min = Min. stroke length

¹⁾ Bleeding: With view to the piston rod, the position is offset by 90° in relation to the line connection (clockwise)²⁾ Ø D4 max. 0,5 mm deep³⁾ Throttle valve only with end position cushioning „E” (180° for bleeding)⁴⁾ Flange connections see separate table pages 36 and 37⁵⁾ Thread design „G”⁶⁾ Thread design „A”⁷⁾ Dimensions for cylinders with seal design M, T, G, L, R, S and V⁸⁾ Dimensions for cylinders with seal design A and B⁹⁾ Observe the min. stroke length „X*min”¹⁰⁾ With piston Ø 160 to 280 mm 8 mounting bores
With piston Ø 320 mm 12 mounting bores

LIITE 12: Bosch Rexroth NS 10, NS 25 ja NS 52 nimelliskokojen esiohjattujen paineenrajoitusventtiilien ominaiskäyrät [28]



NS 10, NS 25



NS 52